

# ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## MEDICAL DEVICES, SYSTEMS AND PRODUCTS

УДК 004.932.2

doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-7

### СОЗДАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДАТЧИКОВ В МЕДИЦИНСКОЙ СФЕРЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Д. С. Потехин<sup>1</sup>, П. В. Комаров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>1</sup>msyst@msyst.ru, <sup>2</sup>pashabox123@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* В медицинской сфере ведется работа над разработкой специального устройства, предназначенного для приема и обработки данных с ультразвуковых датчиков. Это устройство имеет целью обнаружение заболеваний на ранней стадии. *Материалы и методы.* С помощью ультразвука измеряется толщина стенок сосудов и вен, что позволяет проводить оценку состояния сердечно-сосудистой системы. Ультразвуковые датчики размещаются на теле пациента в виде фазированной решетки, что способствует повышению точности и площади измерений. *Результаты и выводы.* Создание устройства для сбора и обработки данных с ультразвуковых датчиков имеет большой потенциал для ранней диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы человека.

**Ключевые слова:** ПЛИС, ультразвук, архитектура, сердечно-сосудистая система человека, ультразвуковые датчики, фазированная решетка

**Для цитирования:** Потехин Д. С., Комаров П. В. Создание устройства для сбора и обработки данных с ультразвуковых датчиков в медицинской сфере деятельности // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 56–63. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-7

### DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR RECEIVING AND PROCESSING DATA FROM ULTRASOUND SENSORS IN THE MEDICAL FIELD

D.S. Potekhin<sup>1</sup>, P.V. Komarov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

<sup>1</sup>msyst@msyst.ru, <sup>2</sup>pashabox123@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* In the medical field, work is underway to develop a special device designed to receive and process data from ultrasound sensors. This device aims to detect diseases at an early stage. *Materials and methods.* Ultrasound is used to measure the thickness of the walls of blood vessels and veins, which makes it possible to assess the state of the cardiovascular system. Ultrasonic sensors are placed on the patient's body in the form of a phased array, which helps to increase the accuracy and measurement area. *Results and conclusions.* The creation of a device for collecting and processing data from ultrasound sensors has great potential for early diagnosis of diseases of the human cardiovascular system.

**Keywords:** FPGA, ultrasound, architecture, human cardiovascular system, ultrasonic sensors, phased array

**For citation:** Potekhin D.S., Komarov P.V. Development of a device for receiving and processing data from ultrasound sensors in the medical field. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(4):56–63. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-7

## Введение

Разработка устройства для приема и обработки данных с ультразвуковых датчиков в медицинской сфере является актуальной задачей сегодняшнего времени. Оно представляет собой инновационное решение, которое позволит обнаруживать наличие болезней на ранней стадии и предпринимать своевременные меры для их лечения. В данной статье рассматриваются основные аспекты разработки такого устройства и его потенциальные преимущества [1].

Основой разрабатываемого устройства является программируемая логическая интегральная схема (сокращенно ПЛИС) серии Zynq 7000. Она обеспечивает высокую производительность и гибкость в настройке, что позволяет эффективно обрабатывать данные с ультразвуковых датчиков. Отладочная плата с ПЛИС имеет в своей периферии разъем FSMC, через который подключен модуль, состоящий из одного двухканального ЦАП DAC 3283 и двух одноканальных АЦП LTC 2204. Данный модуль позволит подключить два ультразвуковых датчика (УЗД) к ПЛИС.

Это позволяет считывать и обрабатывать данные, полученные от ультразвуковых датчиков, с высокой точностью и разрешением. АЦП преобразует аналоговый сигнал, полученный от датчиков, в цифровой формат, который затем может быть обработан и проанализирован с использованием программной логики на ПЛИС. ЦАП, в свою очередь, позволяет генерировать аналоговые сигналы на УЗД датчик, выступая в роли генератора сигнала.

В будущем планируется увеличить число УЗД в несколько раз и установить усилители сигнала на вход и выход датчиков, таким образом удастся реализовать ультразвуковую фазированную решетку [2], которая обеспечит динамическое фокусирование в нескольких точках одновременно. Расположение УЗД в виде фазированной решетки представлено на рис. 1. Ультразвуковые фазированные решетки часто применяются для поиска препятствий на поверхности и обнаружения мелких объектов [3], кроме этого, они используются и для анализа слоистых структур [4, 5]. Такая архитектура системы обеспечивает высокую производительность и гибкость в обработке данных с ультразвуковых датчиков, что является важным фактором для разработки устройства, предназначенного для диагностики сердечно-сосудистой системы человека. Структура системы представлена на рис. 2.

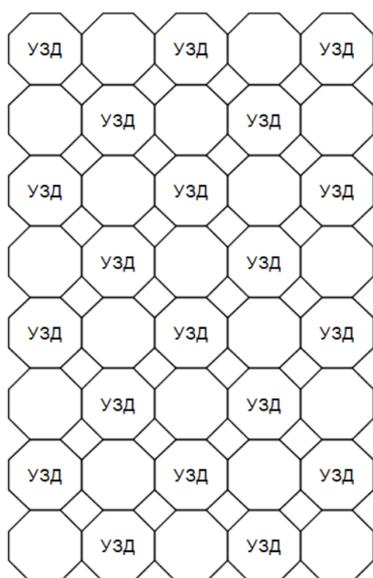


Рис. 1. Расположение УЗД на фазированной решетке

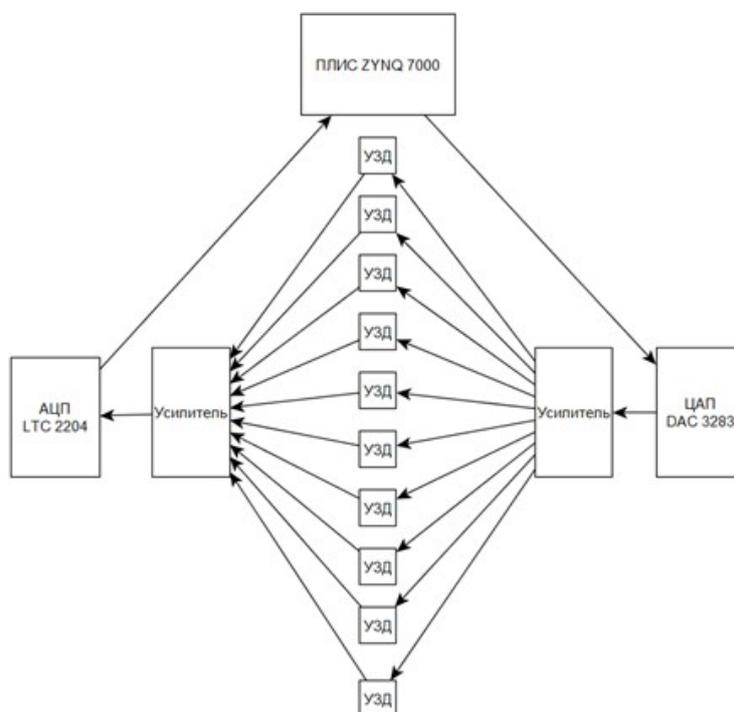


Рис. 2. Структура системы для проведения ультразвуковых измерений

Каждый блок в структурной схеме под названием УЗД, расположенный на рис. 2, состоит из двух ультразвуковых датчиков и среды между ними. Состав одного УЗД представлен на рис. 3. Внешний вид одного блока УЗД из макета представлен на рис. 4.



Рис. 3. Состав одного блока УЗД, указанных на рис. 1



Рис. 4. Внешний вид одного УЗД блока из макета

### *Основные преимущества устройства*

Одним из главных преимуществ разрабатываемого устройства является его неинвазивность. Оно позволяет проводить анализ состояния и работы сердечно-сосудистой системы человека без проникновения внутрь организма. Это делает процесс диагностики более безопасным и комфортным для пациента [1].

Кроме того, устройство будет портативным и легким, что позволит носить его на себе и не ощущать дискомфорта. Оно будет включать в себя ультразвуковые датчики, расположенные в области сердца человека, а также манжету на плече левой руки. Такая конфигурация позволит системе считывать данные со всех датчиков [6] и передавать результаты исследования на телефон или смарт-часы, что позволит пациенту контролировать работу своего организма. В отличие от акустических микроскопов Титова – Маева, данное устройство является портативным [7]. Концепция крепления устройства на теле человека представлено на рис. 5.

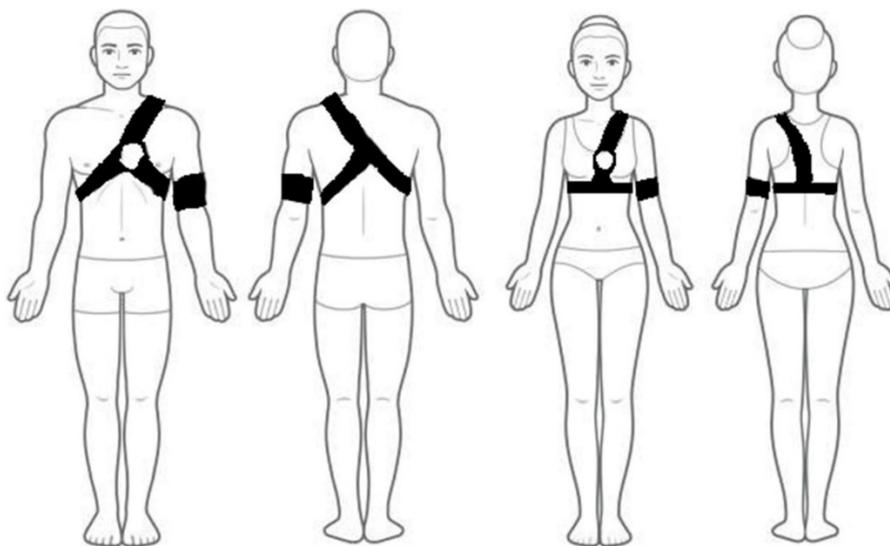


Рис. 5. Концепция крепления устройства на теле человека

Алгоритм работы системы основан на сопоставлении измеренных данных с нормальными значениями, характерными для здорового состояния человека. В случае выявления отклонений система анализирует их и выдает результаты, указывающие на возможное наличие заболевания на ранней стадии. Важно отметить, что после получения таких результатов необходимо проконсультироваться с врачом для дальнейшего лечения.

Разработка устройства для приема и обработки данных с ультразвуковых датчиков в медицинской сфере представляет собой перспективное направление. Его внедрение позволит обнаруживать заболевания на ранней стадии и предпринимать необходимые меры для их лечения [1, 8]. Устройство обладает несколькими преимуществами, такими как неинвазивность, портативность и возможность контроля состояния организма пациента. Важно продолжать разработку данного устройства и проводить дальнейшие исследования для его оптимизации и улучшения.

В дальнейшей разработке данного устройства планируется использовать метод ультразвуковой голографии для определения координат тела в среде. Этот метод основан на сравнении голографических карт, полученных с помощью ультразвуковых датчиков. При добавлении материального объекта в среду устройство будет способно определить его координаты и отобразить их на голографической карте. Принцип изображен на рис. 6. Это позволит расширить возможности устройства и использовать его не только для измерения состояния сердечно-сосудистой системы, но и для более точного определения расположения объектов внутри организма. Это может быть полезно, например, при проведении медицинских процедур или операций, где точное определение координат объектов является критически важным. Таким образом, разработка устройства для приема и обработки данных с ультразвуковых датчиков в медицинской сфере продолжается, и добавление метода ультразвуковой голографии позволит расширить его функциональность и повысить точность определения и анализа данных.

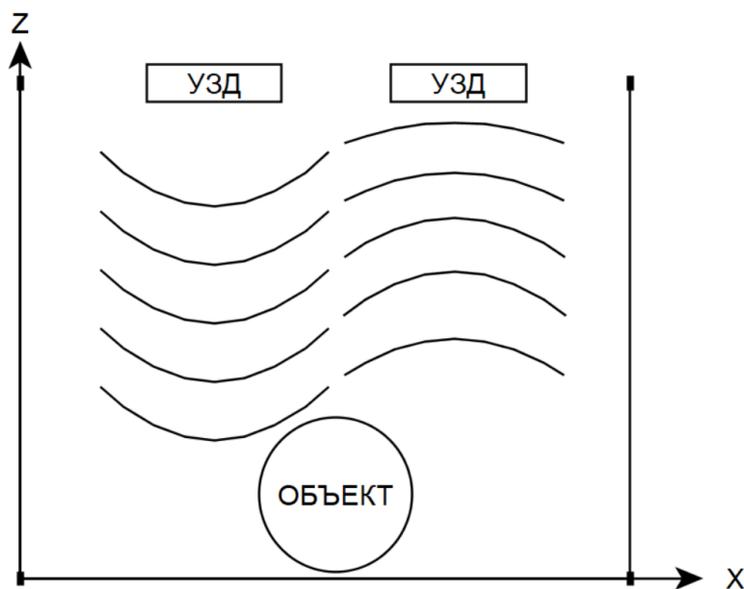


Рис. 6. Принцип ультразвуковой голографии на примере двух датчиков

Для составления голографической карты используется формула

$$f = \frac{v}{2L}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота ультразвуковых волн;  $v$  – скорость ультразвука в воздухе;  $L$  – расстояние между датчиками.

Скорость ультразвука зависит от среды, в которой он распространяется. В воздухе она составляет около 340 м/с, а в воде – около 1500 м/с.

Для обнаружения местоположения объекта с помощью двух ультразвуковых датчиков используется формула

$$x = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{L_1 - L_2}, \quad (2)$$

где  $x$  – расстояние до объекта;  $f_1$  и  $f_2$  – частоты ультразвуковых волн от первого и второго датчиков соответственно;  $L_1$  и  $L_2$  – расстояния до объекта от первого и второго датчиков.

Для определения расстояния от ультразвукового датчика до объекта используется формула

$$r = \frac{vt}{2}, \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние до объекта;  $v$  – скорость звука;  $t$  – время прохождения ультразвукового сигнала от датчика до объекта и обратно.

Для определения координат объекта по координатам  $x$ ,  $y$  и  $z$  с помощью двух ультразвуковых датчиков используются формулы

$$x = \frac{(f_2 - f_1)L_1}{c}, \quad (4)$$

$$y = \frac{(f_1 - f_2)L_2}{c}, \quad (5)$$

$$z = \frac{(f_1 + f_2)(L_1 + L_2)}{2c}, \quad (6)$$

где  $x$ ,  $y$  и  $z$  – координаты объекта;  $f_1$  и  $f_2$  – частоты ультразвуковых сигналов от первого и второго датчиков;  $L_1$  и  $L_2$  – длины лучей, испускаемых первым и вторым датчиками соответственно;  $c$  – скорость ультразвука в вакууме.

В воде скорость звука будет меньше, чем в вакууме, поэтому формула для определения координат  $x$ ,  $y$  и  $z$  объекта будет рассчитываться следующим образом:

$$x = \frac{\frac{f_2 - f_1}{2} \frac{L_1 + (2d)}{v} \frac{L_2}{L_1 - d}}{\frac{v}{v}}; \quad (7)$$

$$y = \frac{\frac{f_1 - f_2}{2} \frac{L_2 + (2d)}{v} \frac{d}{d + L_1}}{\frac{v}{v}}; \quad (8)$$

$$z = \frac{\frac{f_1 + f_2}{4} \left( 2 \left( \frac{L_1 + d}{\frac{L_1 - d}{v} + \frac{L_2 + d}{\frac{d}{v} + L_1}} \right) v \right)}{2v}. \quad (9)$$

Здесь  $d$  – глубина воды, в которой находится объект.

Для фазированной решетки из 20 датчиков можно использовать ту же формулу, что и для двух датчиков, только вместо расстояний между датчиками нужно будет использовать расстояния между элементами решетки. Например, для обнаружения местоположения объекта будет использоваться формула

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{20} f_{1_i} L_{1_i} - \sum_{i=1}^{20} f_{2_i} L_{2_i}}{2 \left( \sum_{i=1}^{20} L_{1_i} - L_{2_i} \right)}, \quad (10)$$

где  $f_i$  и  $f_j$  – частоты ультразвуковых сигналов, испускаемых  $i$ -м датчиком;  $L_i$  и  $L_j$  – расстояния от  $i$ -го датчика до объекта.

Для определения координаты объекта в фазированной решетке из 20 элементов используем следующие формулы:

$$x = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} \frac{(f_i L_i) - (f_j L_j)}{L_i - L_j}; \quad (11)$$

$$y = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} \frac{(f_j L_i) - (f_i L_j)}{L_j - L_i}; \quad (12)$$

$$z = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^{20} \frac{(f_i + f_j)(L_i + L_j)}{2v}, \quad (13)$$

где  $f_i$  и  $f_j$  – частоты ультразвука для каждого элемента решетки;  $L_i$  и  $L_j$  – расстояния до объекта для каждого элемента,  $v$  – скорость ультразвука в среде.

### Результаты и обсуждение

Для демонстрации работоспособности ультразвукового измерения было решено между датчиками расположить воду как среду, соединяющую два датчика, в результате чего удалось снять показания с ультразвуковых датчиков в момент динамического воздействия на среду, точнее на воду, показания представлены в виде сигнала на рис. 7.

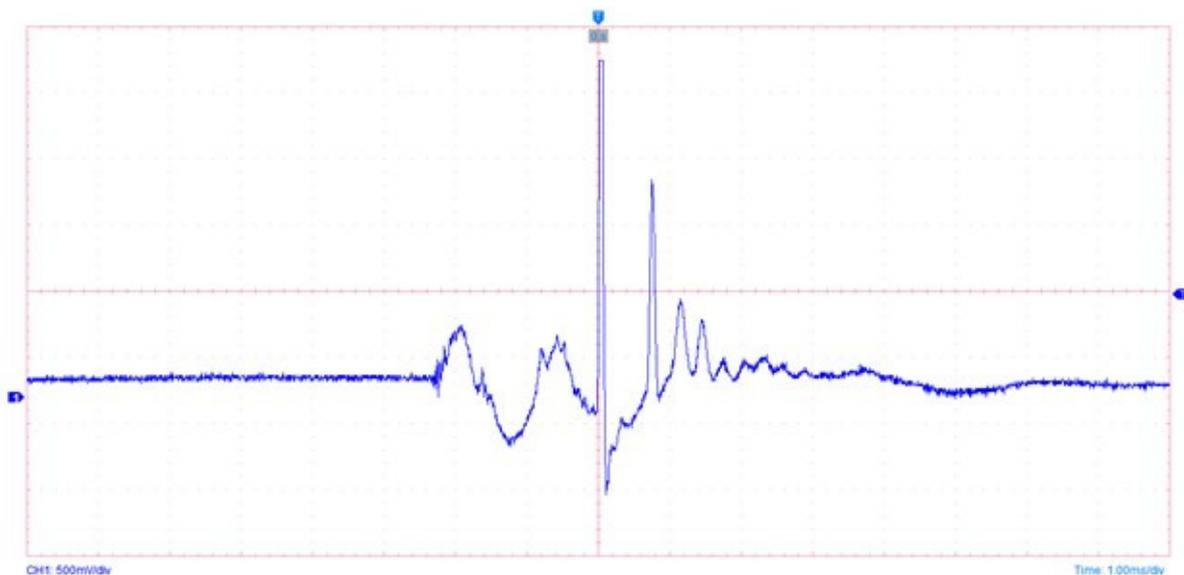


Рис. 7. Сигнал с ультразвукового датчика в момент динамического воздействия на среду (воду), расположенную между датчиками

Эти эксперименты позволили получить ценные данные о взаимодействии ультразвуковых датчиков с водой в качестве среды. Измерения показали, что ультразвуковые волны способны проникать через воду и обнаруживать изменения в ее состоянии под воздействием внешних факторов. Это подтверждает возможность использования ультразвуковых датчиков для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека, так как сердечно-сосудистая система тесно связана с циркуляцией крови, которая, в свою очередь, содержит воду [8].

### Заключение

Таким образом, разработка устройства для приема и обработки данных с ультразвуковых датчиков в медицинской сфере имеет большой потенциал для ранней диагностики заболеваний

и контроля состояния сердечно-сосудистой системы человека. Это позволит спасти множество жизней и улучшить качество медицинского обслуживания.

### Список литературы

1. Никифорова А. И., Чихирев А. С. Применение ультразвука для диагностики различных патологий // Аллея науки. 2023. Т. 2, № 5. С. 173–175. EDN: NUWUMF
2. Фазированная решетка. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phased\\_array](https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array)
3. Свойства УЗ-волны и особенности ее распространения. URL: <https://textarchive.ru/c-2274764.html>
4. Титов С. А., Богаченков А. Н. Визуализация и характеристика малых объектов в линзовом акустическом микроскопе с двумерной решеткой // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6, № 6. С. 66–73. doi: 10.32362/2500-316X-2018-6-6-66-73
5. Титов С. А., Маев Р. Г., Богаченков А. Н. Линзовый акустический микроскоп с линейной решеткой в режиме измерения параметров слоистых объектов // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4, № 2. С. 25–30.
6. Батяев А. С., Бодин О. Н., Чыонг Т. Л. Н. [и др.] Обеспечение электромагнитной совместимости в системе регистрации множественных отведений электрокардиосигнала // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 2. С. 89–96. doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-11
7. Титов С. А., Маев Р. Г., Богаченко А. Н. Линзовый многоэлементный акустический микроскоп в режиме измерения параметров слоистых объектов // Акустический журнал. 2017. Т. 63, № 5. С. 546–552. doi: 10.7868/S0320791917050136
8. Лаппо Н. М., Галаганова В. Н., Шишкина К. Н. Влияние ультразвука на жидкости // Материалы докладов 50-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвященной году науки (г. Витебск, 12–13 апреля 2017 г.) : в 2 т. Витебск : Витеб. гос. технол. ун-т, 2017. Т. 1. С. 359–361. EDN: ZICMON

### References

1. Nikiforova A.I., Chikhirev A.S. The use of ultrasound for the diagnosis of various pathologies. *Alleya nauki = Alley of Science*. 2023;2(5):173–175. (In Russ.). EDN: NUWUMF
2. *Fazirovannaya reshetka = Phased array*. (In Russ.). Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phased\\_array](https://en.wikipedia.org/wiki/Phased_array)
3. *Svoystva UZ-volny i osobennosti ee rasprostraneniya = Properties of the ultrasonic wave and features of its propagation*. (In Russ.). Available at: <https://textarchive.ru/c-2274764.html>
4. Titov S.A., Bogachenkov A.N. Visualization and characterization of small objects in a lens acoustic microscope with a two-dimensional lattice. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal = Russian Technological Journal*. 2018;6(6):66–73. (In Russ.). doi: 10.32362/2500-316X-2018-6-6-66-73
5. Titov S.A., Maev R.G., Bogachenkov A.N. A lens acoustic microscope with a linear lattice in the mode of measuring parameters of layered objects. *Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal = Russian Technological Journal*. 2016;4(2):25–30. (In Russ.)
6. Batyaev A.S., Bodin O.N., Chyong T.L.N. et al. Ensuring electromagnetic compatibility in the registration system of multiple leads of an electrocardiosignal. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2023;(2):89–96. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-2-11
7. Titov S.A., Maev R.G., Bogachenko A.N. Lens multi-element acoustic microscope in the mode of measuring parameters of layered objects. *Akusticheskiy zhurnal = Acoustic Journal*. 2017;63(5):546–552. (In Russ.). doi: 10.7868/S0320791917050136
8. Lappo N.M., Galaganova V.N., Shishkina K.N. The effect of ultrasound on liquids. *Materialy dokladov 50-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. prepodavateley i studentov, posvyashchennoy godu nauki (g. Vitebsk, 12–13 aprelya 2017 g.): v 2 t. = Materials of the reports of the 50th International Scientific and Technical Conference Conference of teachers and students dedicated to the Year of Science (Vitebsk, April 12–13, 2017) : in 2 vol.* Vitebsk: Viteb. gos. tekhnol. un-t, 2017;1:359–361. (In Russ.). EDN: ZICMON

### Информация об авторах / Information about the authors

**Дмитрий Станиславович Потехин**  
 доктор технических наук, доцент,  
 профессор кафедры вычислительной техники,  
 МИРЭА – Российский технологический  
 университет  
 (Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)  
 E-mail: [msyst@msyst.ru](mailto:msyst@msyst.ru)

**Dmitry S. Potekhin**  
 Doctor of technical sciences, associate professor,  
 professor of the sub-department  
 of computer engineering,  
 MIREA – Russian Technological University  
 (78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Павел Вячеславович Комаров**

аспирант,

МИРЭА – Российский технологический

университет

(Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78)

E-mail: pashabox123@yandex.ru

**Pavel V. Komarov**

Postgraduate student,

MIREA – Russian Technological University

(78 Vernadsky avenue, Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

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

**Поступила в редакцию/Received 14.09.2023**

**Поступила после рецензирования/Revised 13.10.2023**

**Принята к публикации/Accepted 20.11.2023**