

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-126-141>



УДК 004.89

## Моделирование информативных признаков на основе амплитудно-фазовой частотной характеристики при проведении биоимпедансных исследований на биологическом объекте

Н. А. Корсунский<sup>1</sup>, Д. К. Реутов<sup>1</sup>, А. А. Малышев<sup>1</sup>, Р. А. Томакова<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация  
✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования** заключается в разработке и апробации методики формирования информативных признаков с помощью дескрипторов для нейронных сетей, предназначенных для оценки медицинских рисков на основе анализа переходных процессов в биоматериале *in vivo*.

**Методы.** Исследования предполагают применение тестовых электрических воздействий на участки тела с необычной проводимостью для получения амплитудно-фазочастотной характеристики импеданса биоматериала, на который производилось указанное воздействие. В качестве ключевых параметров использовались координаты графика Коула данного биоматериала. Для формирования графика Коула применялось преобразование Карсона, основанное на данных переходного процесса, полученных с помощью четырехполюсника, где основным элементом является импеданс изучаемого биоматериала. Входными сигналами для четырехполюсника была последовательность синусоидальных импульсов.

**Результаты.** На основе системы сбора данных E20-10 производства ЗАО «L-Card» разработан программино-аппаратный комплекс для оцифровки переходных процессов в четырехполюсниках, элементом которых является импеданс биоматериала в анатомических областях с аномальной электропроводностью. Было разработано программное обеспечение на языке программирования *Delphi* для генерации тестовых сигналов и записи ответных реакций биоматериала на эти воздействия. Также была предложена теоретическая модель, объясняющая преобразование отсчетов переходной характеристики четырехполюсника с импедансом биоматериала к графику Коула данного биоматериала.

**Заключение.** Исследование подтверждает, что использование линейной модели импеданса биоматериала способствует формированию дескрипторов на основе амплитудно-фазочастотной характеристики, учитывающих его диссипативные свойства. Построение графика Коула с учетом этих диссипативных характеристик позволяет разрабатывать классификаторы медицинских рисков возникновения социально значимых заболеваний.

**Ключевые слова:** медицинский риск; четырехполюсник; биоимпеданс; программино-аппаратный комплекс; амплитудно-фазочастотная характеристика.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Корсунский Н. А., Реутов Д. К., Малышев А. А., Томакова Р. А., 2024

**Для цитирования:** Модель информационного обеспечения регионального оператора по обращению с твердыми коммунальными отходами / Н. А. Корсунский, Д. К. Реутов, А. А. Малышев, Р. А. Томакова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С.126–141. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-126-141>

Поступила в редакцию 28.04.2024

Подписана в печать 20.05.2024

Опубликована 28.06.2024

## Modeling of informative features based on the amplitude-phase frequency response during bioimpedance studies at a biological facility

Nikita A. Korsunkii<sup>1</sup>, Dmitry K. Reutov<sup>1</sup>, Anton A. Malyshev<sup>1</sup>,  
Rimma A. Tomakova<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: rtomakova@mail.ru

### Abstract

**The purpose of research** is to develop and test a technique for forming informative features using descriptors for neural networks designed to assess medical risks based on the analysis of transient processes in biomaterial in a living organism (*in vivo*).

**Methods.** Studies suggest the use of test electrical effects on areas of the body with unusual conductivity to obtain the amplitude-phase-frequency characteristic of the impe-dance of the biomaterial on which the specified effect was performed. The coordinates of the Cole graph of this biomaterial were used as key para-meters. To form the Cole graph, the Carson transform was used, based on transient data obtained using a four-terminal, where the main element is the impedance of the studied biomaterial. The input signals for the four-terminal were a sequence of sinusoidal pulses.

**Results.** Based on the E20-10 data collection system manufactured by L-Card CJSC, a software and hardware complex has been developed for digitizing transient processes in four-terminal circuits, the element of which is the impedance of biomaterial in anatomical areas with abnormal electrical conductivity. Software in the Delphi programming language was developed to generate test signals and record biomaterial responses to these exposures. A theoretical model was also proposed explaining the conversion of the samples of the transition characteristic of the four-terminal with the impedance of the biomaterial to the Cole graph of this biomaterial.

**Conclusion.** The study confirms that the use of a linear biomaterial impedance model contributes to the formation of descriptors based on the amplitude-phase-frequency characteristic, taking into account its dissipative properties. Building a Cole graph taking into account these dissipative characteristics allows us to develop classifiers of medical risks of socially significant diseases.

**Keywords:** medical risk; four-terminal device; bioimpedance; software and hardware complex; amplitude-phase response.

**Conflict of interest:** The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Korsunkii N.A., Reutov D.K., Malyshev A.A., Tomakova R.A. Model of information support for a regional operator for the management of municipal solid waste. *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.* 2024; 14(2): 126–141. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-126-141>

Received 28.04.2024

Accepted 20.05.2024

Published 28.06.2024

## Введение

В современном мире информационные технологии играют все более значимую роль в различных сферах человеческой деятельности, включая медицину. Одним из важных направлений применения информационных систем в медицине является прогнозирование медицинских рисков. Случаи любого риска, снижающего продолжительность жизни или ухудшающего здоровье человека, рассматриваются как медицинские риски. Одной из главных проблем современной медицины является не только лечение заболеваний, но и их предупреждение. Прогнозирование и возможности оценки возникновения медицинских рисков важны для профилактики заболеваний и их лечения [1]. В связи с этим разработка различных методов для раннего выявления инфекционных рисков может помочь создать комплекс мер для сохранения качества жизни пациента и более эффективной реабилитации [2].

Для обеспечения своевременного и точного прогнозирования медицинских рисков необходимо включение систем поддержки принятия решений (СППР) в состав информационных систем [3]. Прогнозирование медицинских рисков позволяет выявить факторы, которые могут привести к развитию определенных заболеваний, и принять меры по их устранению. Информационные системы предоставляют возможность анализировать большие объемы данных, включая данные о состоянии здоровья пациентов, генетическую информацию, результаты анализов и обследований, что помогает выявить скрытые закономерности и связи между различными факторами и заболеваниями [4].

Прогнозирование медицинских рисков с помощью информационных систем имеет ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет персонализировать подход к лечению, учитывая индивидуальные особенности каждого пациента. Во-вторых, это способствует более раннему выявлению потенциальных проблем и предупреждению осложнений. В-третьих, это помогает оптимизировать процессы диагностики и лечения, сокращая время и затраты на лечение [5].

Однако, несмотря на все преимущества, прогнозирование медицинских рисков с помощью информационных систем также имеет свои ограничения и вызывает определенные вопросы. Одним из главных вызовов является обеспечение конфиденциальности и безопасности медицинских данных, так как они содержат чувствительную информацию о пациентах. Также важно учитывать этические аспекты использования информационных систем в медицине, чтобы избежать возможных негативных последствий.

В целом прогнозирование медицинских рисков с помощью информационных систем является актуальным и перспективным направлением развития современной медицины. Это позволяет повысить эффективность лечения, улучшить качество жизни пациентов и снизить затраты на здравоохранение. Однако для успешной реализации этого подхода необходимо учитывать все аспекты, связанные с безопасностью, конфиденциальностью и этическими нормами, чтобы обеспечить максимальную пользу от использования информационных систем в медицине.

Одним из инновационных методов, который становится все более

актуальным, являются биоимпедансные исследования [6]. Следует отметить, что основное преимущество биоимпедансных исследований заключается в их безвредности и безопасности для пациентов. Этот метод не требует применения радиации или инвазивных процедур, что делает его идеальным для повторного использования и мониторинга состояния пациента в динамике. Применение биоимпедансных исследований позволяет отслеживать изменения, происходящие в составе тела пациента и в соответствии с этим корректировать программы лечения и реабилитации в зависимости от результатов.

Таким образом, биоимпедансные исследования представляют собой важный инструмент для диагностики состояний пациента и контроля за его здоровьем. Их актуальность заключается в возможности получения точных и надежных данных о составе тела, что способствует более эффективному лечению и улучшению качества жизни пациентов.

Исследования, проведенные в работе [7], показали возможность имитационного моделирования применительно для медицинских информационных технологий, позволяющих оценить объективное состояние пациентов на основе биоимпеданса.

Биоимпедансные исследования могут быть полезны при диагностике различных состояний и заболеваний. Например, они могут помочь в оценке состава тела у пациентов с ожирением, сахарным диабетом, сердечно-сосудистыми заболеваниями и другими патологиями [8].

В настоящее время изучение важной информации, получаемой из анализа

спектра импеданса, находится пока на начальном этапе, это направление перспективно для возможности проведения неинвазивными диагностики различных заболеваний и прогнозирования патологий в будущем [9].

В процессе проведения измерений проводится анализ проводимости при помощи слабых зондирующих токов [10]. Наиболее эффективным является метод, в основе которого предусмотрена возможность построения графика Коула [11]. Этот метод основан на исследовании амплитудно-фазочных характеристик (АФЧХ) двухполюсного эквивалента импеданса биоматериала, включенного в цепь источника зондирующего тока [12]. Важно при этом поддерживать морфологическую однородность и целостность биоматериала при проведении биоимпедансных исследований [13]. Также следует устанавливать необходимый диапазон частот зондирующего тока и осуществлять реализацию заданного шага с учетом диссипативных свойств импеданса биоматериала, поэтому процесс измерений требует значительных временных затрат [14]. Это становится актуальной проблемой для выполнения всех перечисленных требований.

## Материалы и методы

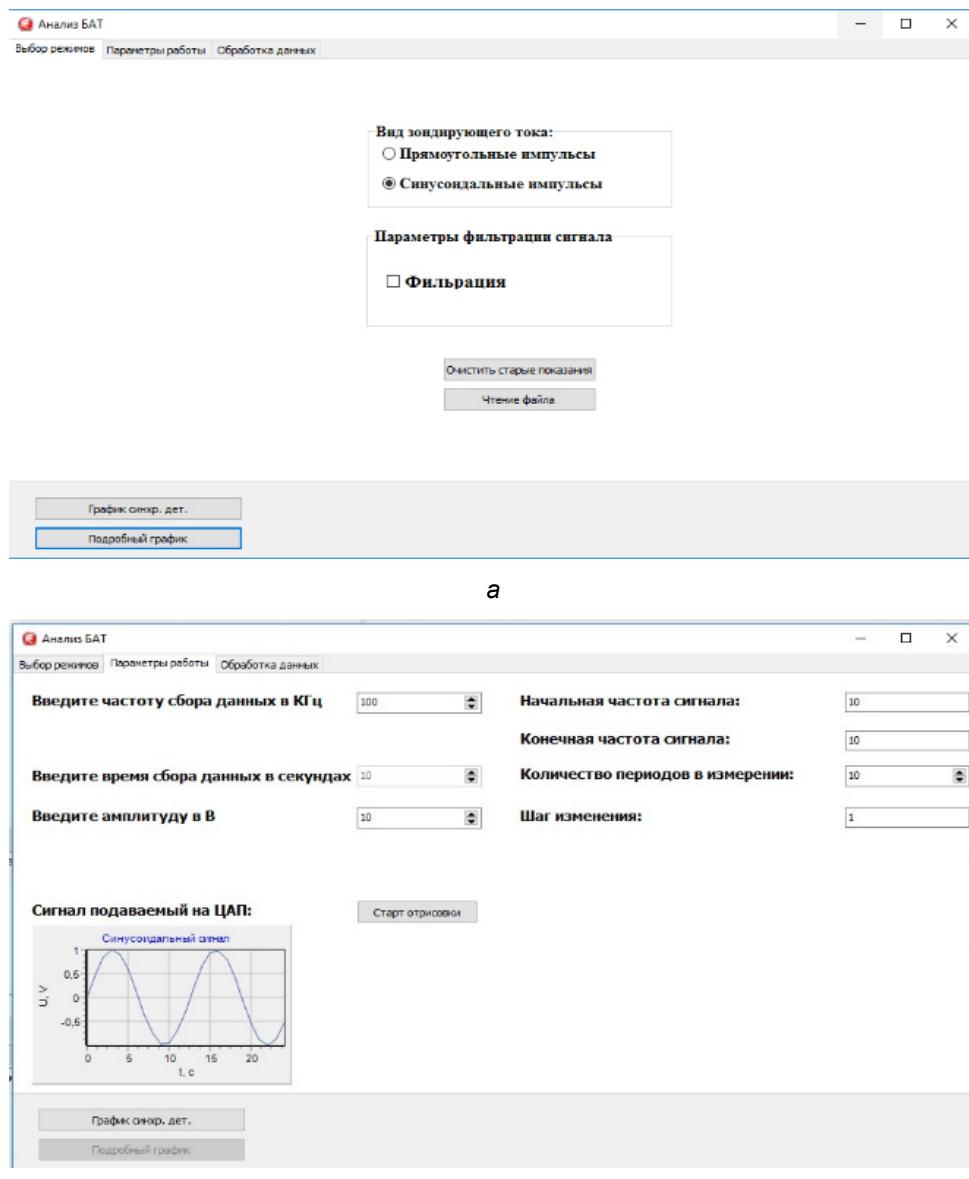
Архитектура программно-аппаратного комплекса (ПАК) для биоимпедансных исследований биологических объектов представляет собой результат разработки, конструирования и тестирования специализированного комплекса [15].

Использование двухканального 12-разрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и усилителя, встроенного в УСО, позволяют устанавливать

постоянное напряжение в диапазоне  $\pm 15$  В для воздействия на биообъект [16]. Кроме того, ПАК предоставляет возможность не только цифровой обработки, но и визуализации полученной переходной характеристики по заданным параметрам [17].

Для разработки программного обеспечения использовалась среда RAD Studio XE8 со встроенной библиотекой L-Card (Lisbari LCome) [18].

Интерфейс запускаемого диалогового окна представлен ниже (рис. 1).

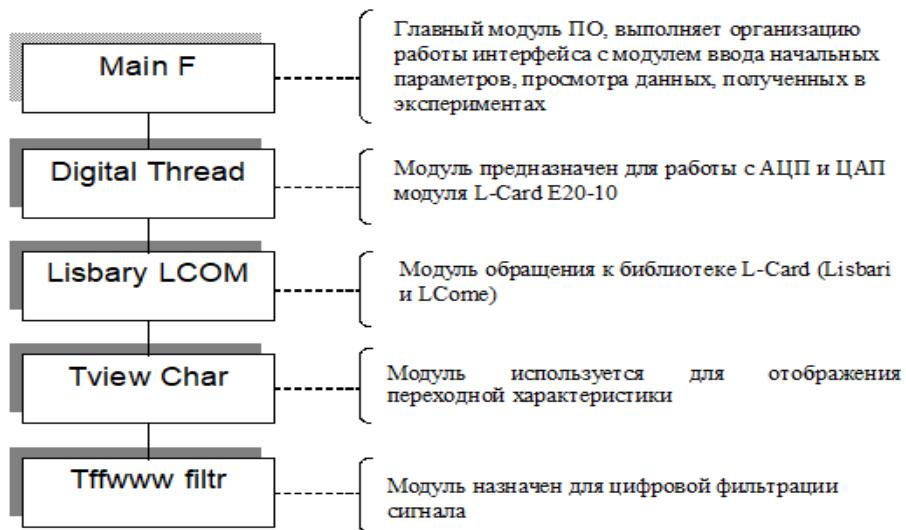


**Рис. 1.** Основное диалоговое окно программы (начальный интерфейс, открывающийся при запуске): а – выбор типа сигнала, б – установка настроек

**Fig. 1.** Main dialog window of the program (initial interface that opens when launched): а – selection of signal type; б – setting adjustment

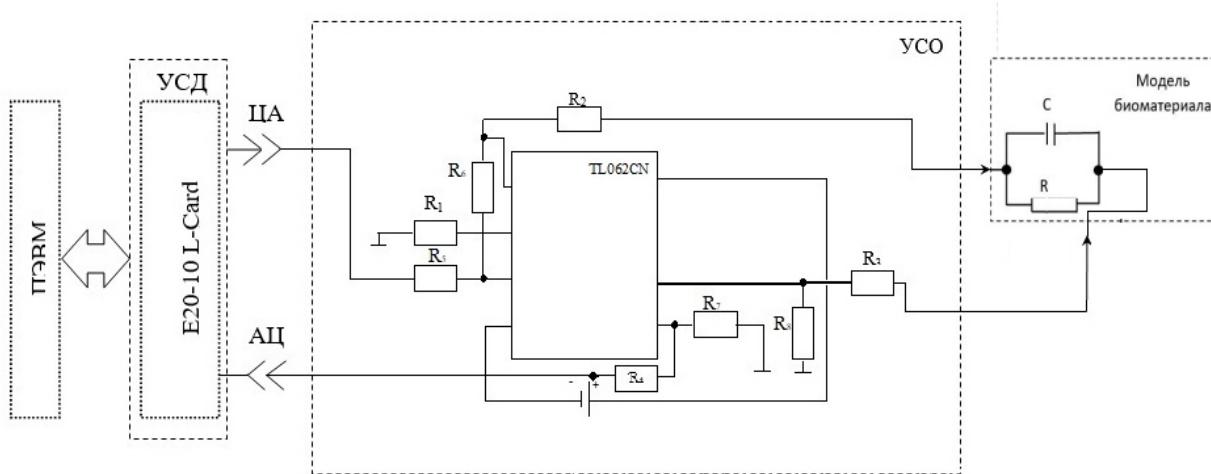
Программное обеспечение было разработано в среде Delphi RAD Studio

XE 8. Рассмотрим схему взаимодействия модулей программного продукта (рис. 2).

**Рис. 2.** Схема взаимодействия модулей программного продукта**Fig. 2.** Scheme of interaction of software product modules

В процессе моделирования переходных характеристик, возникающих в биоматериале при проведении биоимпедансных исследований, применялась эквивалентная схема пассивного RC-двуихполюсника, предложенная Коулом

[19]. На рисунке 3 представлена электрическая схема такого двухполюсника [20], с помощью которой осуществляется процесс моделирования импеданса биоматериала (блок выделен пунктирной линией).

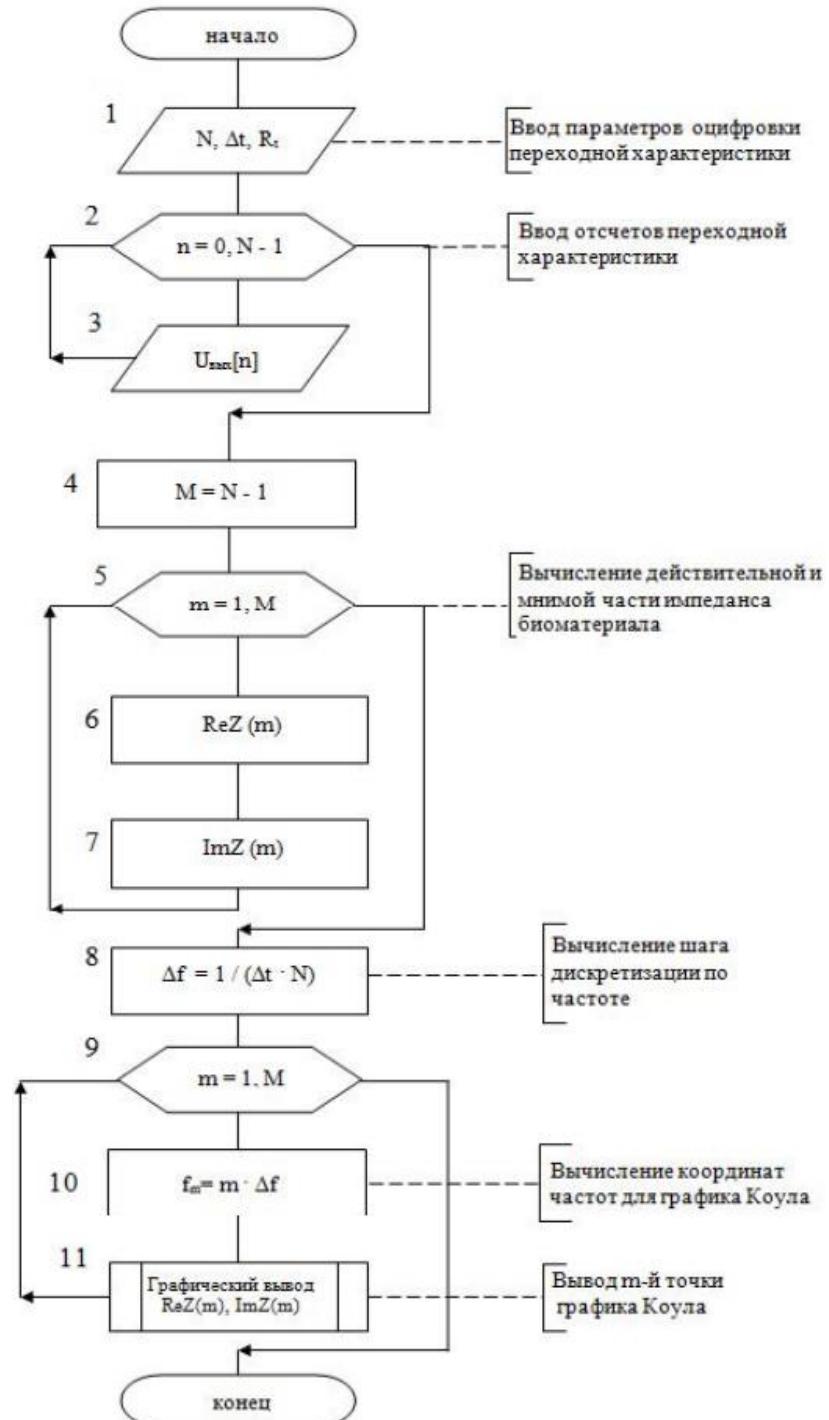
**Рис. 3.** Функциональная схема устройства для оцифровки переходных характеристик биоматериала**Fig. 3.** Functional diagram of the device for digitizing the transient characteristics of biomaterial

## Результаты и их обсуждение

Рассмотрим схему алгоритма для построения графика Коула для анализа биоматериала (рис. 4). Реализация

предложенного алгоритма дает возможность анализировать зависимости вещественной и мнимой части импеданса биоматериала в зависимости от частот для следующих параметров ( $R_T = 100$  кОм и 0,1

МКФ). Эти зависимости приведены ниже (рис. 5).



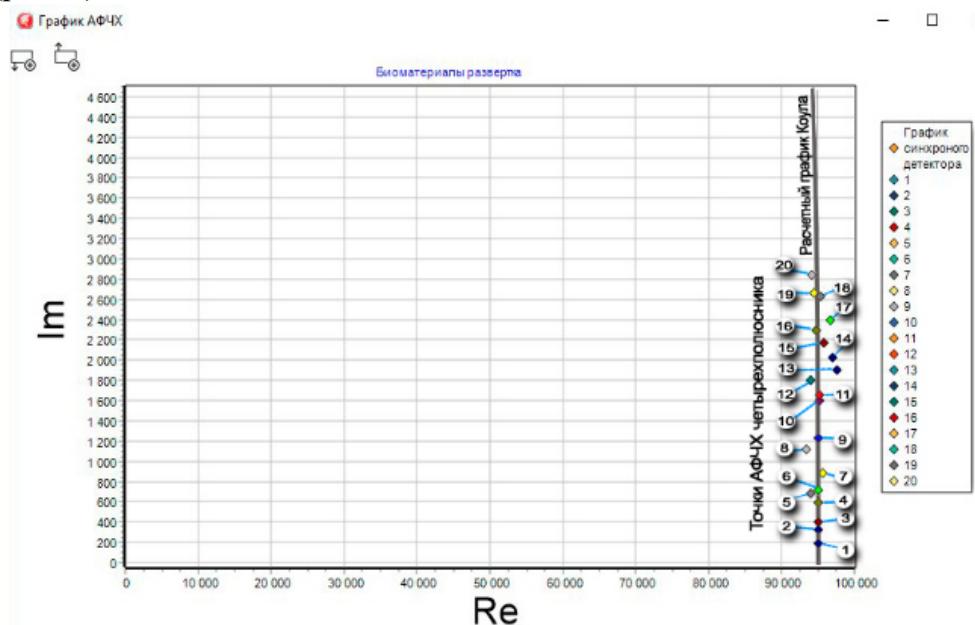
**Рис. 4.** Схема алгоритма для формирования значений вещественной и мнимой части импеданса биоматериала по системе частот

**Fig. 4.** The scheme of the algorithm for calculating the values of the real and imaginary parts of the biomaterial impedance according to the frequency system

Результаты проведенных экспериментальных исследований выполнялись

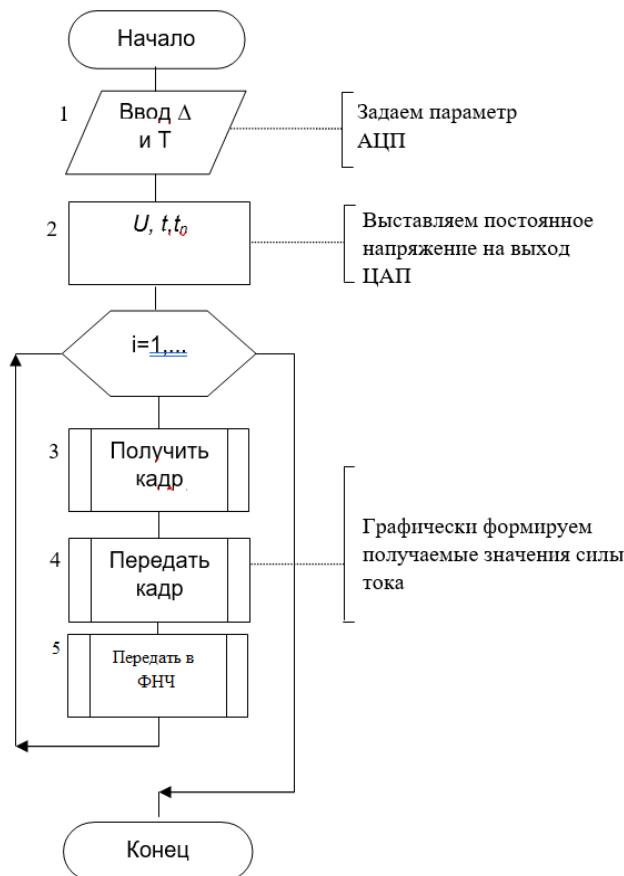
при изменении параметров:  $U \in [0,15] \text{ В}$ ;  $\Delta \in [0,10] \text{ МГц}$ ,  $\sin \omega t \in [1,20] \text{ Гц}$ .

Рассмотрим схему алгоритма получения данных (рис. 6).



**Рис. 5.** Зависимости значений вещественной и мнимой части импеданса биоматериала по системе частот

**Fig. 5.** Dependencies of real and imaginary parts of the biomaterial impedance values across the frequency system

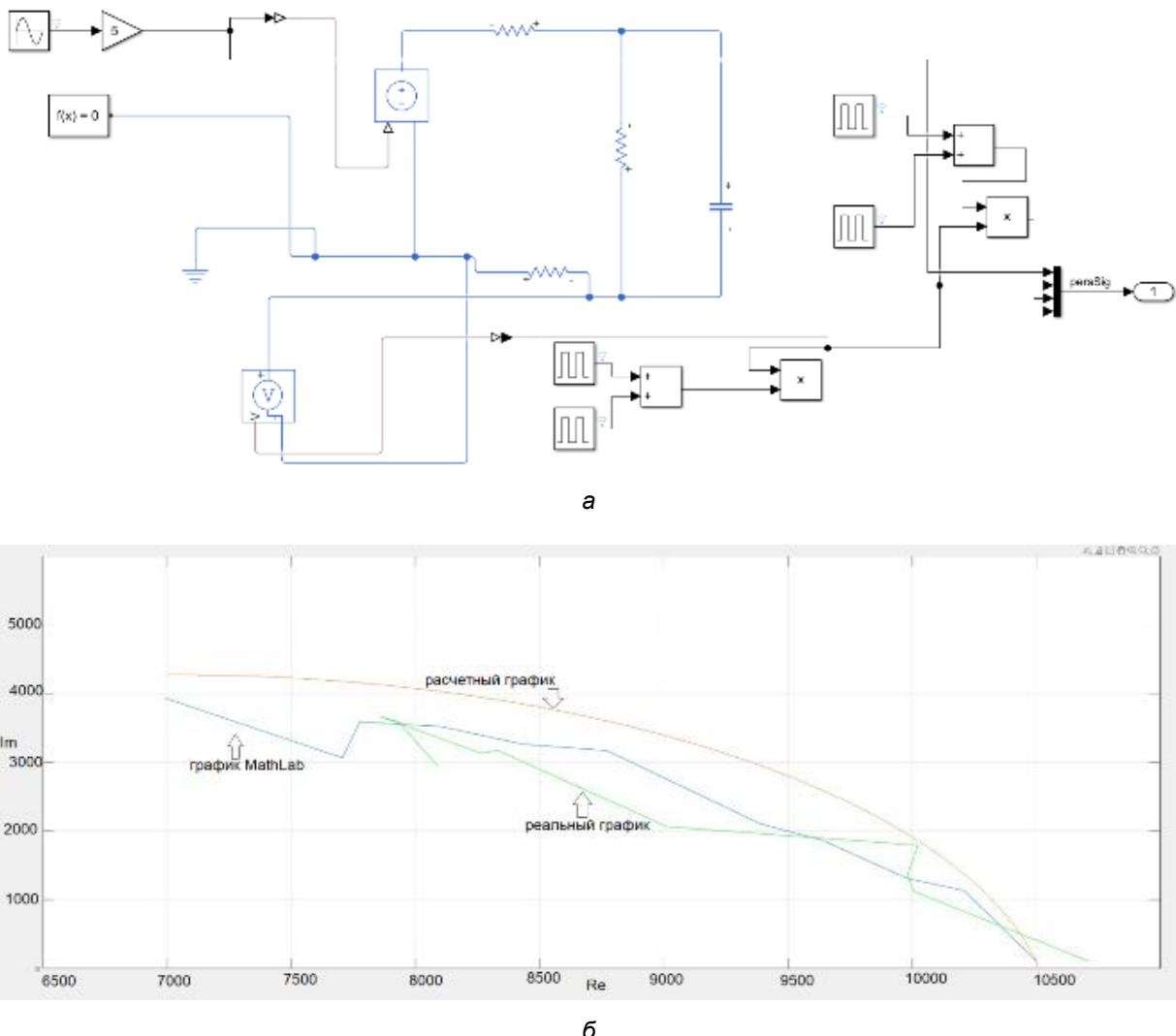


**Рис. 6.** Схема алгоритма передачи данных посредством L-Card**Fig. 6.** Diagram of data acquisition through L-Card

В процессе реализации алгоритма пользователю предлагается выбор значений величины напряжения, частоты дискретизации, периода подачи напряжения и времени сбора данных. Частота дискретизации выбирается исходя из желаемой точности и уровня зашумленности данных.

Для проверки работоспособности ПАК была разработана модель в Mathlab

Simulink (рис. 7). Затем были проведены сравнительные анализы, включающие теоретические значения, значения, полученные в результате проектирования в Mathlab Simulink, и реальные значения (рис. 7). После синхронных детекторов сигнал проходит программную фильтрацию во время обработки.



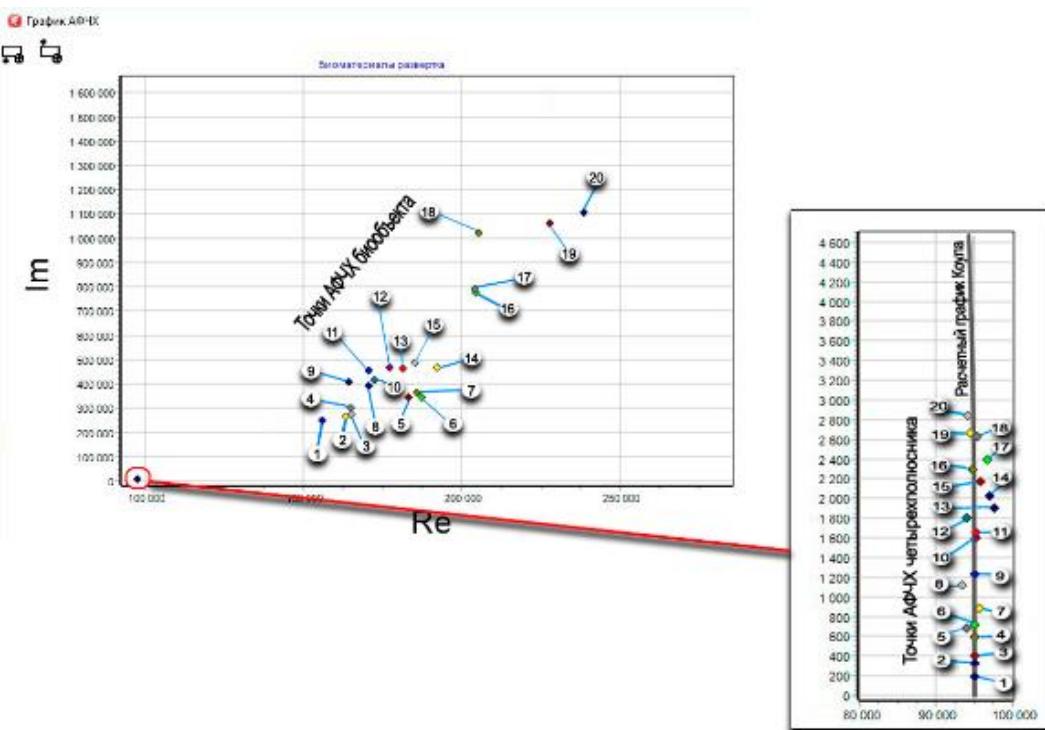
**Рис. 7.** Анализ работоспособности ПАК на основе модели, разработанной в Mathlab Simulink:  
а – схема для получения расчетных значений на основе модели фантома; б – значения, полученные с фантомом на реальной модели, модели в Simulink и на расчетных значениях

**Fig. 7.** Analysis of the performance of the PAK based on the model developed in Matlab Simulink:  
 а – a scheme for obtaining calculated values based on the phantom model; б – the values obtained with the phantom on the real model, the model in Simulink and on the calculated values

При проведении эксперимента производилось 200 измерений на фантоме, представляющем реальную и проектную модели. Следует заметить, что средняя ошибка значений для проектных данных составила менее 4%, что свидетельствует о высокой точности полученных результатов. В то же время для реальной модели наблюдается большее расхождение, где значения колеблются в пределах

6%. Эти значения позволяют сделать вывод о том, что программно-аппаратный комплекс (ПАК) может быть успешно применен в биоимпедансных исследованиях.

При оцифровки экспериментальных данных, получены значения вещественной и мнимой составляющей, которые продемонстрированы в сравнении с моделируемыми значениями (рис. 8).



**Рис. 8.** Интерфейсы программного продукта режима визуализации данных

**Fig. 8.** Interfaces of the software product in visualization mode

Сравнительный анализ вещественной и мнимой частей импеданса показывает их существенное отличие от четырехполюсников, однако разность фаз остается постоянной.

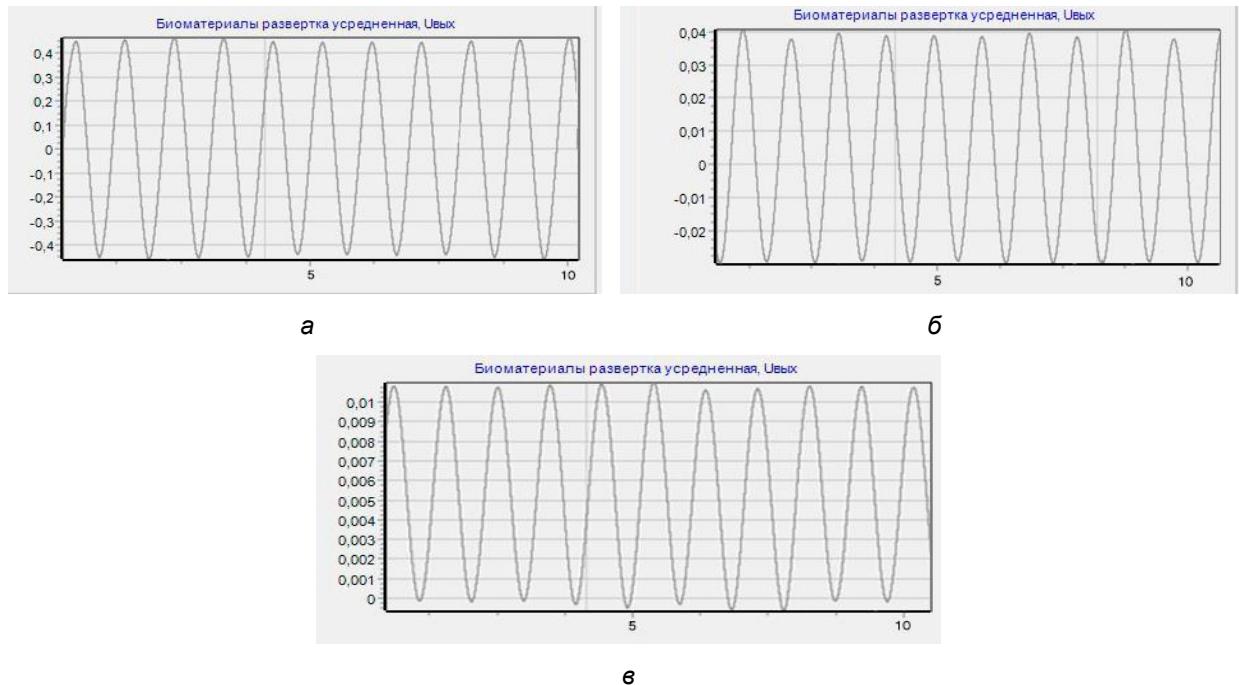
Для формирования результатов было выбраны следующие периоды взаимодействия (с): [0;10], [100;110],

[190;200]. Результаты продемонстрированы ниже (рис. 9).

Помимо временного интервала единичного исследования необходимо учитывать время до восстановления поврежденных тканей контактной поверхности биообъекта, которое не превышает 1 ч. Для проведения эксперимента была

сформирована группа из 10 участников мужского и женского пола возрастом не старше 25 лет. В процессе эксперимента

биоимпедансные показатели регистрировались с интервалами в 5, 15, 30 и 60 мин.



**Рис. 9.** Интервалы биоимпедансных исследований биообъекта: а – исследование от 0 до 10 с; б – исследование от 100 до 110 с; в – исследование от 190 до 200 с

**Fig. 9.** Intervals of bioimpedance investigation: а – investigation from 0 to 10 s; б – investigation from 100 to 110 s; в – investigation from 190 to 200 s

В результате анализа полученных данных было установлено значительное искажение импульса при интервале исследований в 5 и 15 мин (рис. 8, в), заметное искажение на интервале от 30 мин до 60 мин (рис. 8, б), и лишь спустя 60 мин все биообъекты вернулись к исходным морфологическим показателям (рис. 8, а).

Сравнение данных исследования показало зависимость результатов от времени воздействия на биообъект, обусловленную разрушением ткани контактной поверхности, в связи с чем возникает необходимость в ограничении как времени единичного исследования, так и в ограничении частоты

исследований за определенный временной промежуток.

#### Выводы

Разработан процесс цифровой обработки переходной характеристики на биоматериале и построения графика АФЧХ. Для контроля электрических свойств биоматериала целесообразно использовать вольтамперные характеристики при линейно изменяющихся напряжениях.

Дальнейшее развитие ПАК предусматривает работу с сохраненными файлами, улучшенные возможности визуализации для детального изучения переходных характеристик, а также потенциал для выявления рисков

### Список литературы

1. Анализ нормы ст. 41 УК РФ об обоснованном риске с точки зрения теоретической обоснованности. URL: [http://studbooks.net/1116912/pravo/meditsinskiy\\_risk\\_ obosnovannogo\\_riska](http://studbooks.net/1116912/pravo/meditsinskiy_risk_ obosnovannogo_riska) (дата обращения: 11.03.2024).
2. Ростовцев В. Н. Классификация медицинских рисков. URL: <http://www.kmsd.su/vracham/nauchnye-stati/klassifikatsiya-meditsinskikh-riskov-rostovtsev-v-n> (дата обращения: 11.03.2024).
3. Шаталова О. В. Интеллектуальные системы мониторинга медицинских рисков с учетом биоимпедансных исследований: монография / Юго-Западный гос. ун-т. Курск, 2020. 356 с.
4. Гибридные нечеткие модели для прогнозирования возникновения и осложнений артериальной гипертензии с учетом энергетических характеристик биоактивных точек / М. А. Ефремов, С. А. Филист, О. В. Шаталова, Е. А. Старцев, Л. В. Шульга // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 104–119.
5. Katherine J. Wu There are more viruses than stars in the universe. URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/04/factors-allow-viruses-infect-humans-coronavirus> (дата обращения: 12.03.2024).
6. Shatalova O. V., Burmaka A. A., Korovin E. N. Impedance models in anomalous electrical conduction zones forming by in-vivo experiments for intelligent systems of socially important diseases diagnostic // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE, 2018. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501668>
7. Вясничев Я. А., Пилосян Э. А. Нейронные сети в медицине // Актуальные задачи математического моделирования информационных технологий. 2018. Т. 1, № 1. С. 30–39.
8. Зонова, Я. А., Пилосян А. С. Применение искусственных нейронных сетей в медицине // Лучшая студенческая статья. 2018. Т. 1, № 1. С. 59–61.
9. Bay Z., Gong Y., Tian X. The Rapid Assessment and Early Warning Models for COVID-19 // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 21, N 4. P. 272–279. <https://doi.org/10.26577/ijerph-2018-1-313>
10. Корсунский Н. А., Томакова Р. А., Брежнев А. В. Программное обеспечение, предназначенное для оцифровки переходной характеристики, при проведении биоимпедансных исследований на биологическом объекте // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. № 1. С. 50–67.
11. Программно-аппаратный комплекс для формирования дескрипторов в системе поддержки принятия решений по диагностике медицинских рисков / Н. А. Корсунский,

А. В. Мирошников, О. В. Шаталова, З. У. Протасова, А. В. Серебровский // Лазеры. Измерения. Информация. 2021. № 1. С. 43–54.

12. Метрологические аспекты автоматизированного метода измерения биоимпеданса / Е. А. Печерская, В. В. Антипенко, О. В. Карпанин [и др.] // Приборы, системы и изделия медицинского назначения. 2020. № 3 (33). С. 78–84.

13. Модели латентных предикторов в интеллектуальных системах прогнозирования состояния живых систем / А. В. Киселев, О. В. Шаталова, З. У. Протасова, С. А. Филист, Н. С. Стадниченко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 1. С. 114–133.

14. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Стадниченко Н. С. Классификация биологических объектов на основе многомерного биоимпедансного анализа // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 3/4. С. 29–49.

15. Метрологические аспекты автоматизированного метода измерения биоимпеданса / Е. А. Печерская, В. В. Антипенко, О. В. Карпанин [и др.] // Приборы, системы и изделия медицинского назначения. 2020. № 3 (33). С. 78–84.

16. Agrebi S., Larbi A. Use of artificial intelligence in infectious diseases // Medical Decision Makin. 2020. Vol. 6, N 3. P. 415–438. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817133-2.00018-5>

17. Begoli E., Agrebi S., Larbi A. The need for uncertainty quantification in machine-assisted medical decision making // Nature Machine Intelligence. 2019. Vol. 1, N 1. P. 20–23. <https://doi.org/10.1038/s42256-018-0004-1>

18. Алгоритм оптимизации модели Войта в классификаторах функционального состояния живых систем / А. В. Мирошников, О. В. Шаталова, Н. С. Стадниченко, М. А. Ефремов, А. Ю. Новоселов, А. В. Павленко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 2. С. 59–75.

19. Sarvamangala D. R., Raghavendra V. K. Convolutional neural networks in medical image understanding: a survey // Evolutionary Intelligence. 2022. Vol. 3, N 1. P. 151–173. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00540-3>

20. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey / I. A. Oludare, A. Jantan, V. D. Kemi, H. Asrshad // Heliyon. 2018. Vol. 4, N 11. P. 160–204. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00938>

## References

1. Analysis of the norm of Article 41 of the Criminal Code of the Russian Federation on reasonable risk from the point of view of theoretical validity. (In Russ.) Available at: [http://studbooks.net/1116912/pravo/meditsinskiy\\_risk\\_obosnovannogo\\_riska](http://studbooks.net/1116912/pravo/meditsinskiy_risk_obosnovannogo_riska) (accessed 11.03.2024).

2. Rostovtsev V.N. Classification of medical risks. (In Russ.) Available from: <http://www.kmsd.su/vracham/nauchnye-stati/klassifikatsiya-meditsinskikh-riskov-rostovtsev-v-n> (accessed 11.03.2024).
3. Shatalova O.V. Intellectual systems for monitoring medical risks taking into account bioimpedance studie. Kursk: Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet; 2020. 356 p. (In Russ.)
4. Efremov M.A., Filist S.A., Shatalova O.V., Startsev E.A., Shulga L.V. Hybrid fuzzy models for predicting the occurrence and complications of arterial hypertension taking into account the energy characteristics of bioactive points. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2018;8(4):104–119. (In Russ.)
5. Catherine J. There are more viruses in the universe than there are stars. (In Russ.) Available at: <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/04/factors-allow-viruses-infect-humans-coronavirus> (accessed 12.03.2024).
6. Shatalova O.V., Burmaka A.A., Korovin E.N. Impedance models in anomalous electrical conduction zones forming by in-vivo experiments for intelligent systems of socially important diseases diagnostic. In: International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi: IEEE; 2018. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501668>
7. Vyasnichenko Y.A., Pilosyan E.A. Neural Networks in Medicine. *Aktual'nye zadachi matematicheskogo modelirovaniya informatsionnykh tekhnologii = Current Issues in Mathematical Modeling of Information Technologies.* 2018;1(1):30–39.
8. Zonova Y.A., Pilosyan A.S. Application of Artificial Neural Networks in Medicine. *Luchshaya studencheskaya stat'ya = Best Student Article.* 2018;1(1):59–61. (In Russ.)
9. Bay Z., Gong Y., Tian X. The Rapid Assessment and Early Warning Models for COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020;21(4):272–279. <https://doi.org/10.26577/ijbch-2018-1-313>
10. Korsunsky N.A., Tomakova R.A., Brezhnev A.V. Software designed for digitizing the transient response during bioimpedance studies on a biological object. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2021;(1):50–67. (In Russ.)
11. Korsunsky N.A., Tomakova R.A., Brezhnev A.V. Software-Hardware Complex for Descriptor Generation in Decision Support Systems for Medical Risk Diagnosis. *Lazery. Izmereniya. Informatsiya = Lasers. Measurements. Information.* 2021;(1):43–54. (In Russ.)
12. Pecherskaya E.A., Antipenko V.V., Karpanin O.V., et al. Metrological Aspects of the Automated Bioimpedance Measurement Method. *Pribory, sistemy i izdeliya meditsinskogo naznacheniya = Instruments, Systems, and Products for Medical Purposes.* 2020;(3):78–84. (In Russ.)
13. Kiselyov A.V., Shatalova O.V., Protasova Z.U., Filist S.A., Stadnichenko N.S. Models of latent predictors in intellectual systems forecasting the state of living systems. *Izvestiya*

*Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2020;10(1):114–133. (In Russ.)

14. Miroshnikov A.V., Shatalova O.V., Stadnichenko N.S. Classification of biological objects based on multidimensional bioimpedance analysis. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2020;10(3/4):29–49. (In Russ.)

15. Pecherskaya E.A., Antipenko V.V., Karpanin O.V., et al. Metrological aspects of the automated method of bioimpedance measurement. *Pribory, sistemy i izdeliya meditsinskogo naznacheniya = Medical Devices, Systems, and Products.* 2020;(3):78–84. (In Russ.)

16. Agrebi S., Larbi A. Use of artificial intelligence in infectious diseases. *Medical Decision Making.* 2020;6(3):415–438. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817133-2.00018-5>

17. Begoli E., Agrebi S., Larbi A. The need for uncertainty quantification in machine-assisted medical decision making. *Nature Machine Intelligence.* 2019;1(1):20–23. <https://doi.org/10.1038/s42256-018-0004-1>

18. Miroshnikov A.V., Shatalova O.V., Stadnichenko N.S., Efremov M.A., Novoselov A.Y., Pavlenko A.V. Voigt model optimization algorithm in classifiers of the functional state of living systems. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2022;12(2):59–75. (In Russ.)

19. Sarvamangala D.R., Raghavendra V.K. Convolutional Neural Networks in Medical Image Understanding: A Survey. *Evolutionary Intelligence.* 2022;3(1):151–173. <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00540-3>

20. Oludare I.A., Jantan A., Kemi V.D., Asrshad H. State-of-the-Art in Artificial Neural Network Applications: A Survey. *Heliyon.* 2018;4(11):160–204. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00938>

## Информация об авторах / Information about the Authors

**Корсунский Никита Александрович**, аспирант кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, e-mail: cor.nick2013@yandex.ru, г. Курск, Российская Федерация, ORCID: 0009-0005-4606-5517

**Реутов Дмитрий Константинович**, преподаватель кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sdfh.sgh@inbox.ru,

**Nikita A. Korsunsky**, Post-Graduate Student of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: cor.nick2013@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-4606-5517

**Dmitry K. Reutov**, Lecturer of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sdfh.sgh@inbox.ru, ORCID: 0009-0007-6969-2286

ORCID: 0009-0007-6969-2286

**Малышев Антон Александрович**, студент кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alta76@yandex.ru,  
ORCID: 0009-0001-4838-6710

**Томакова Римма Александровна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программной инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: rtomakova@mail.ru, Researcher ID: O-6164-2015, ORCID: 0000-0003-152-4714

**Anton A. Malyshев**, Student of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alta76@yandex.ru, ORCID: 0009-0001-4838-6710

**Rimma A. Tomakova**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Software Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: rtomakova@mail.ru, Researcher ID: O-6164-2015, ORCID: 0000-0003-152-4714