

## СКРИНИНГОВАЯ КАРДИОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Ф. А. Сатыбалдиева<sup>1</sup>, О. Н. Бодин<sup>2</sup>, М. В. Едемский<sup>3</sup>,  
К. А. Ожикенов<sup>4</sup>, М. Н. Крамм<sup>5</sup>, А. Ю. Бодин<sup>6</sup>**

<sup>1, 4</sup> Казахский национальный исследовательский технический  
университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

<sup>3</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>5, 6</sup> Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

<sup>1</sup> feruza201200@gmail.com, <sup>2</sup> bodin\_o@inbox.ru, <sup>3</sup> misha.f.2015@mail.ru,

<sup>4</sup> k.ozhikenov@satbayev.university, <sup>5</sup> krammmn@mail.ru, <sup>6</sup> bodin98@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Разрабатывается скрининговая кардиодиагностическая информационная система (СКИС) медицинской организации на основе цифрового двойника сердца, мультиагентной технологии и облачных вычислений. *Материалы и методы.* Построение СКИС осуществляется на основе современных информационных технологий: мультиагентности, интеллектуальности, моделирования, визуализации и облачности вычислений. *Результаты.* В процессе разработки СКИС осуществлен анализ существующих способов и средств обработки и визуализации кардиографической информации, приведено обоснование подхода к построению СКИС на основе многоагентных технологий и цифрового двойника сердца, спроектировано информационное обеспечение СКИС, усовершенствован цифровой двойник сердца. *Выводы.* Разработанная СКИС на основе современных технологий расширяет функциональные и диагностические возможности неинвазивной электрокардиодиагностики при обследовании широких слоев населения.

**Ключевые слова:** скрининговая кардиодиагностическая информационная система, цифровой двойник сердца, мультиагентные технологии, облачные вычисления

**Для цитирования:** Сатыбалдиева Ф. А., Бодин О. Н., Едемский М. В. [и др.]. Скрининговая кардиодиагностическая информационная система на основе современных технологий // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 63–74. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-5

## SCREENING CARDIODIAGNOSTIC INFORMATION SYSTEM BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

**F.A. Satybaldieva<sup>1</sup>, O.N. Bodin<sup>2</sup>, M.V. Edemskiy<sup>3</sup>,  
K.A. Ozhikenov<sup>4</sup>, M.N. Kramm<sup>5</sup>, A.Yu. Bodin<sup>6</sup>**

<sup>1, 4</sup> K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup> Penza State Technological University, Penza, Russia

<sup>3</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>5, 6</sup> National Research University MPEI, Moscow, Russia

<sup>1</sup> feruza201200@gmail.com, <sup>2</sup> bodin\_o@inbox.ru, <sup>3</sup> misha.f.2015@mail.ru,

<sup>4</sup> k.ozhikenov@satbayev.university, <sup>5</sup> krammmn@mail.ru, <sup>6</sup> bodin98@mail.ru

**Abstract. Background.** The purpose of the article is to develop a screening cardiological information system (SCIS) for a medical organization based on the digital twin of the heart, multi-agent technology and cloud computing. **Materials and methods.** The construction of SCIS is carried out on the basis of modern information technologies: multi-agent, intelligence, modeling, visualization and cloud computing. **Results.** In the process of developing SCIS, the analysis of the existing methods and means of processing and visualization of cardiographic information was carried out, an approach to the construction of SCIS based on multi-agent technologies and a digital twin of the heart was substantiated, information support for SCIS was designed, and the digital twin of the heart was improved. **Conclusions.** The developed SCIS based on modern technologies allows to expand the functional and diagnostic capabilities of non-invasive electrocardiogram in examining the general population.

**Keywords:** screening cardiological information system, digital twin of the heart, multi-agent technologies, cloud computing

**For citation:** Satybaldieva F.A., Bodin O.N., Edemskiy M.V. [et al.]. Screening cardiodiagnostic information system based on modern technologies. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2022;(2):63–74. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-2-5

### Введение

Своевременная диагностика состояния сердца остается одной из наиболее актуальных задач современного здравоохранения. При этом компьютеризация здравоохранения сделала возможным внедрение кардиодиагностической системы в лечебные учреждения различных уровней, а использование персональных портативных устройств оценки состояния сердца повышает эффективность оказания медицинских услуг населению. Тем не менее сохраняется необходимость совершенствования методов и средств диагностики состояния сердца. Эволюция систем доклинической обработки кардиографической информации приведена на рис. 1.

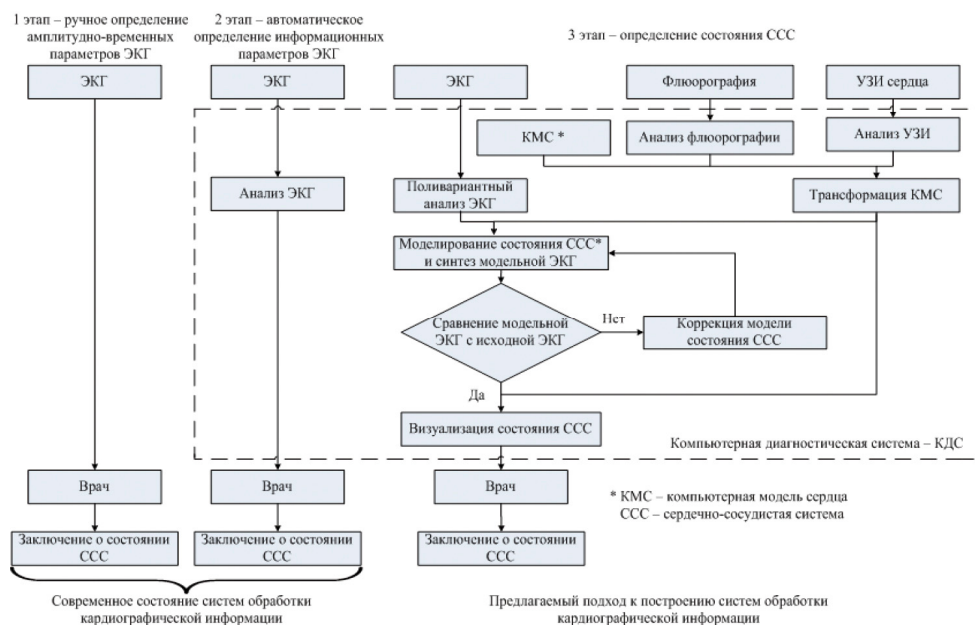


Рис. 1. Развитие систем обработки кардиографической информации

Анализ показывает, что в современных условиях совершенствование системы обработки кардиографической информации основано на анализе кардиографической информации; моделировании сердечно-сосудистой системы (ССС) и визуализации состояния ССС. При этом средствами совершенствования являются цифровизация системы здравоохранения [1] и использование искусственного интеллекта [2], что позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, в том числе посредством Интернета, когда осуществляется оценка функционального состояния организма (ФСО) и прогнозирование динамики лечения [3–6], а также предоставление врачу необходимой справочной информации [7]. На рис. 2 представлена современная парадигма обработки кардиографической информации.



Рис. 2. Схема обработки кардиографической информации

Мажоритарный принцип ( $F = A \# D \# C$ ) лежит в основе современной парадигмы обработки кардиографической информации (аналог медицинского консилиума) [8]. Сочетание нескольких методик является более достоверным в отношении диагноза, чем данные каждой из них в отдельности. Применив несколько независимых методов анализа кардиографической информации, можно добиться повышения вероятности выявления наличия заболевания у больного человека – чувствительность  $P$ :

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i),$$

где  $p_i$  – вероятность выявления наличия заболевания у больного человека (чувствительность)  $i$ -го метода [8]. При  $p_1 = p_2 = p_3 = 0,6$ :

$$P = [1 - (1 - p)^3] = 1 - 0,064 = 0,936.$$

По мнению авторов, для снижения смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) необходимо профилактическое обследование (скрининг) населения. Актуальность электрокардиологического скрининга возрастает в контексте борьбы с коронавирусной инфекцией и ее коморбидными (множественными) осложнениями. Поэтому одной из важных социальных задач является повышение надежности и эффективности диагностики ССЗ во время электрокардиологического скрининга.

Реализации СКИС на основе современных информационных и медицинских технологий посвящена настоящая статья.

### Материалы и методы

Мультиагентная система (МАС) медицинской организации (МО) является комплексом аппаратно-программных средств (рис. 3), включающим сервер МИС МО, на котором располагается база данных (БД) с системой управления СУБД, мультиагентную подсистему с выходом через локальную сеть МИС МО к автоматизированным рабочим местам (АРМ) пользователей и интернет-порталу МИС МО, а также выход в Единую государственную информационную систему здравоохранения (ЕГИСЗ) [9].

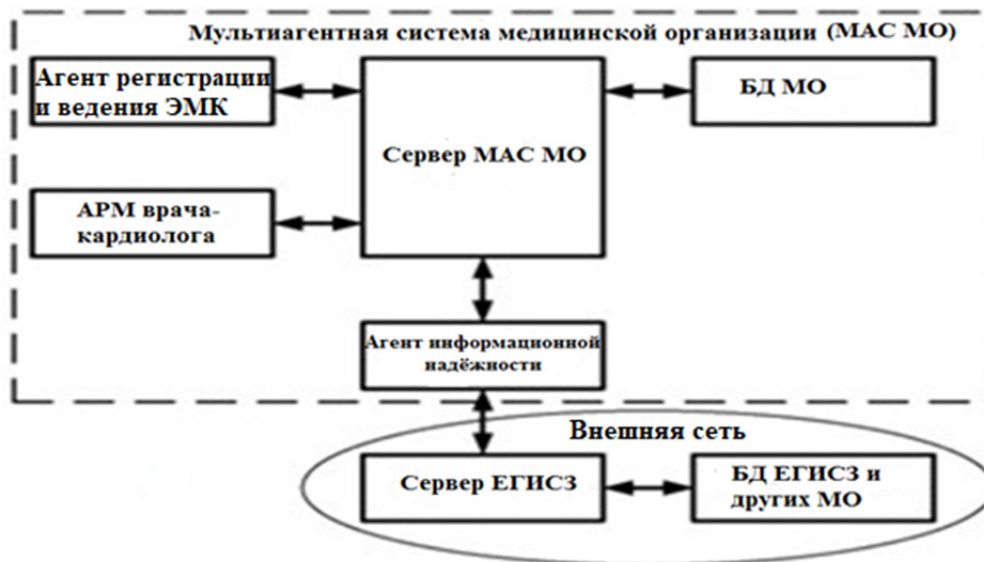


Рис. 3. Структура СКИС

Как показывает анализ рис. 3 и 4, работа МАС заключается в разбиении сложной задачи, решаемой одним объектом, централизованной СКИС, на несколько задач меньшего объема, обрабатываемых распределенной системой интеллектуальных агентов (ИА).

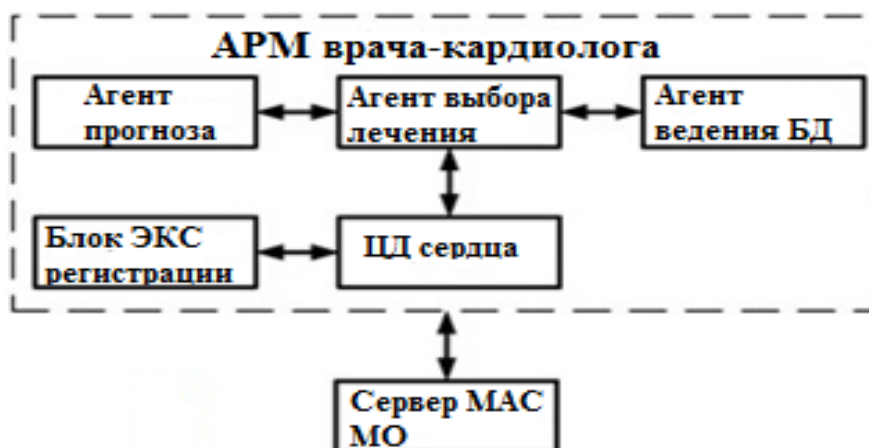


Рис. 4. Структурная схема АРМ врача-кардиолога

Функционал ИА и их количество определяется функционалом СКИС, а именно:

- сбором и анализом данных;
- контролем процесса лечения;
- управлением схемой лечения;
- обеспечением надежности и безопасности функционирования системы.

Как показано на рис. 3 и 4, в функционировании МАС участвуют пять агентов, а именно агент регистрации и ведения электронных медицинских карт (ЭМК), агент информационной надежности, агент ведения БД лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур, агент выбора лечения и агент прогноза течения болезни.

Каждый из них имеет уникальные цели и обязанности. Агент ведения БД и агент формирования ЭМК имеют локальную и мобильную части. Локальная часть находится на сервере МО и выполняет функции анализа, обработки и визуализации данных. Мобильная часть ИА «перемещается» по сети, собирая информацию по запросу пользователя СКИС МО. Другие агенты являются локальными и за пределы СКИС МО не выходят. Однако, взаимодействуя, все пять ИА работают для достижения общей цели, заключающейся в оптимизации, индивидуализации, персонификации и повышении качества оказываемых лечебно-диагностических услуг.

Инициализация работы МАС выполняется любым из ИА, в зависимости от запроса пользователя внутри СКИС МО или пользователя из ЕГИСЗ.

### ***Результаты и обсуждение***

В табл. 1 приведена организация информационного взаимодействия в СКИС в рамках прикладного уровня модели *OSI*.

Анализ табл. 1 показывает функциональные возможности и услуги, предоставляемые СКИС для пациента, для врача и для администратора МО.

По мнению авторов, МАС незаменима при реализации важнейшей функции СКИС – прогнозировании риска внезапной сердечной смерти (ВСС), представляющее собой сердечно-сосудистое осложнение, вызванное синергетическим взаимодействием факторов риска [10, 11]. Признаки ВСС выявляются цифровым двойником (ЦД) сердца [12].

Структурная схема ЦД сердца [13] содержит:

- блок моделей эквивалентного электрического генератора сердца (ЭЭГС) на основе моделей поверхностей торса и эпикарда, который предоставляет выбор моделей и параметров ЭЭГС;
- блок формирования индивидуального ЭЭГС обследуемого на основе зарегистрированного электрокардиосигнала (ЭКС) и предоставляемых моделей;
- блок визуализации электрической активности сердца (ЭАС) на основе полученных индивидуальных ЭЭГС обследуемого;
- блок основных параметров ССС, включая основные характеристики сердечного ритма (СР), характеристики вариабельности СР, характеристики гемодинамики, характеристики ЭКГ ВР (высокого разрешения) и др.

ЦД от блока регистрации ЭКС получает текущую электрокардиологическую информацию об обследуемом в виде записей ЭКС. Результаты обработки ЭКС цифровой двойник отправляет агенту выбора схемы лечения.

Таблица 1

Организация информационного взаимодействия

| Функция                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Прикладной уровень модели <i>OSI</i> |           |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                            | для пациента                         | для врача | для администратора<br>МО |
| Расширенный уровень СКИС                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                      |           |                          |
| Персонифицированный учет оказанной медицинской помощи на основе ведения БД отчетных форм                                                                                                                                                                                                   | –                                    | –         | +                        |
| Взаиморасчеты со сторонними организациями                                                                                                                                                                                                                                                  | –                                    | –         | +                        |
| Взаимодействие с реестром нормативно-справочной информации                                                                                                                                                                                                                                 | –                                    | –         | +                        |
| Взаимодействие с интеграционным шлюзом для передачи и получения данных                                                                                                                                                                                                                     | –                                    | –         | +                        |
| Построение медико-статистических отчетов                                                                                                                                                                                                                                                   | –                                    | –         | +                        |
| Учет временной нетрудоспособности                                                                                                                                                                                                                                                          | +                                    | +         | +                        |
| Использование и ведение ЭМК пациента (или ее части: анкетные данные, анамнез, осмотры, диагнозы, назначения, лечение, сведения о новорожденном, данные вакцинаций, результаты лабораторных, радиологических и инструментальных исследований, протоколы оперативных вмешательств, эпикризы) | +                                    | +         | –                        |

Электрическая активность сердца анализируется при помощи эквивалентных распределенных динамических источников электрической активности – эквивалентных электрических генераторов сердца Л. И. Титомира, в классической монографии которого приведен подробный обзор работ по математическому моделированию ЭАС и построению моделей ЭЭГС [14]. Мультипольная модель ЭЭГС Л. И. Титомира предоставляет принципиальную возможность точного решения электрокардиографических задач.

При недостатке вычислительных возможностей сервера медицинской организации осуществляется выход на сервер ЕГИСЗ для расчета ЭЭГС обследуемого, результаты которого возвращаются врачу-кардиологу и визуализируются (рис. 5) [15].

По результатам обследования электрической активности сердца пациента врач-кардиолог может спрогнозировать риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО). Основными факторами риска ССО являются [16]:

- показатели функционального состояния пациента, такие как снижение variability сердечного ритма [17] и наличие ишемической болезни сердца (ИБС) и инфаркта миокарда [18], гемодинамически значимой аритмии из-за низкой фракции выброса левого желудочка [11], артериальной гипертензии, сахарного диабета и повышенного холестерина;
- состояние окружающей среды [19];
- образ жизни пациента и наличие вредных привычек [20, 21].

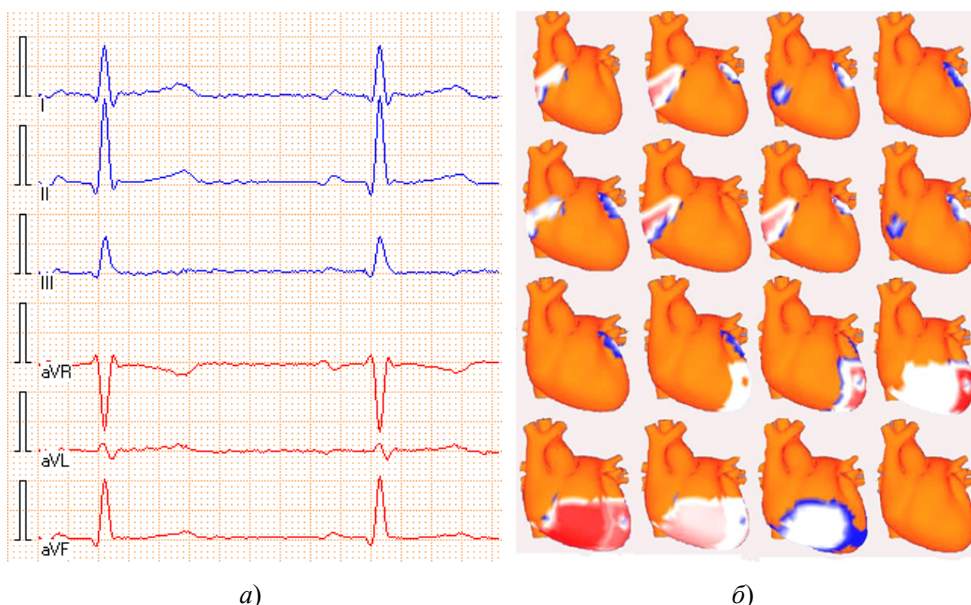


Рис. 5. Визуализация результата обследования пациента на мониторе АРМ врача-кардиолога:

*а* – зарегистрированный электрокардиосигнал;  
*б* – облачное моделирование распространения возбуждения

Качество диагностического решения сопровождается общепринятыми ROC-кривыми (рис. 6), по осям которых откладываются чувствительность – доля верных положительных решений (правильных решений о наличии ИБС у обследуемых с подтвержденной ИБС) и доля ложных положительных решений (решений о наличии ИБС у здоровых обследуемых).

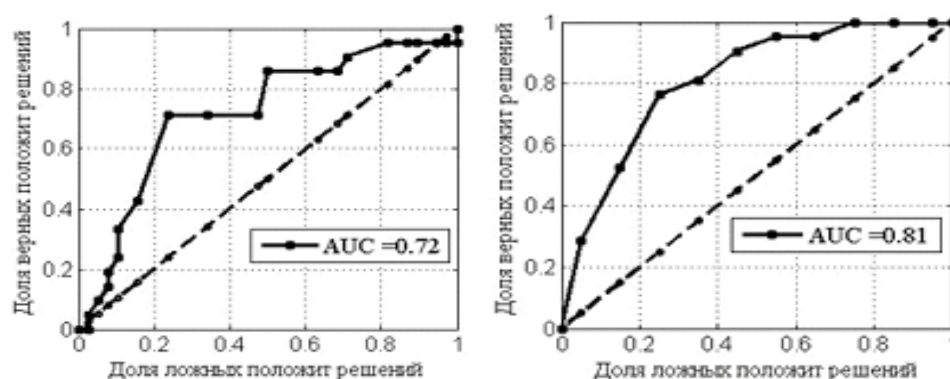


Рис. 6. ROC-кривые для диагностических решений

Площадь под *ROC*-кривой (обозначается *AUC*) интегрально определяет качество классификатора и обязана быть выше значения 0,5 (на графиках показана пунктирной прямой). По предлагаемому способу *AUC* повысилась до уровня 0,81 по сравнению со значением 0,72 по общепринятому способу.

### **Заключение**

Таким образом, современные технологические решения в состоянии значительно повысить эффективность и доступность высокотехнологичных медицинских услуг и достоверно оценить функциональное состояние организма пациента.

В результате проведенного исследования:

1. Предложен подход на основе современной парадигмы обработки кардиографической информации к построению структуры скрининговой кардиологической информационной системы, отличающийся использованием многоагентных технологий и цифрового двойника сердца и позволяющий повысить эффективность скринингового обследования сердечно-сосудистой системы.

2. Предложена организация информационного взаимодействия в СКИС на основе многоагентных технологий, отличающаяся использованием облачного сервиса, включающего функциональный сервер, отвечающий за хранение и обработку информации, и транзитный сервер, отвечающий за организацию взаимодействия с клиентскими системами, и позволяющая приблизить функциональные возможности скринингового обследования сердечно-сосудистой системы к функциональным возможностям клинического обследования.

3. Предложен интеллектуальный агент СКИС – цифровой двойник сердца, отличающийся интеграцией алгоритмов обработки кардиографической информации и позволяющий получать и визуализировать временную динамику пространственных характеристик электрической активности сердца.

4. Разработана подсистема визуализации состояния сердца пациента, отличающаяся реалистичным отображением трехмерной модели сердца пациента, учитывающей индивидуальные особенности размера и положения сердца в грудной клетке и позволяющей показать электрическую активность сердца на основе анализа электрокардиосигнала и флюорографических снимков.

5. Разработана новая СКИС на основе современных информационных и медицинских технологий, позволяющая расширить функциональные возможности и сократить затраты по времени не менее, чем на 10 %, и по ресурсам медицинского учреждения не менее, чем на 5 %, на процессы оказания кардиологической помощи.

### **Список литературы**

1. Паспорт национального проекта национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» : [утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7].
2. Паспорт национального проекта «Здравоохранение» : [утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 24 декабря 2018 г. № 16].
3. Сервис BIOT. URL: <https://biotservice.com/>
4. Платформа прогнозной аналитики Webiomed. URL: <https://webiomed.ai/>
5. КардиРу – персональный контроль вашего сердца. URL: <https://kardi.ru/>



6. DoctorSmart – блокчейн экосистема для медицины и телеконсультаций. URL: <http://smartdoctor.io/>
7. Справочник врача. URL: <https://www.medsolutions.ru/apps/spravochnik-vracha/>
8. Бодин О. Н. Системы неинвазивного контроля состояния сердца : дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2008. 35 с.
9. Безбородова О. Е., Крамм М. Н., Ожикенов К. А., Ожикенова А. К. Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах / под ред. О. Н. Бодина. Алматы : Лантар Трейд, 2021. 314 с.
10. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. СПб. : Питер, 2000. 256 с.
11. Патент 2644303 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), А61В 5/0456 (2006.01). Способ оказания экстренной кардиологической помощи / Бодин О. Н., Аржаев Д. А., Бодин А. Ю. [и др.]. № 2016145352 ; заявл. 18.11.2016 ; опубл. 08.02.2018. 26 с.
12. Паспорт национального проекта национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» : [утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7].
13. Патент 2651068 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Способ неинвазивного определения электрофизиологических характеристик сердца / Бодин О. Н., Бодин А. Ю., Жихарева Г. В. [и др.]. № 2017123613 ; заявл. 05.07.2017 ; опубл. 18.04.2018. 40 с.
14. Титомир Л. И., Кнеппо П., Трунов В. Г., Айду Э. А. И. Биофизические основы электрокардиографических методов. М. : Физматлит, 2009. 224 с.
15. Патент 2651068 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Способ неинвазивного определения электрофизиологических характеристик сердца / Бодин О. Н., Бодин А. Ю., Жихарева Г. В. [и др.]. № 2017123613 ; заявл. 05.07.2017 ; опубл. 18.04.2018. 40 с.
16. Патент 2358646 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01). Способ моделирования и визуализации распространения возбуждения в миокарде / Бодин О. Н., Гладкова Е. А., Кузьмин А. В. [и др.]. № 2007123430/14 ; заявл. 27.12.2008 ; опубл. 20.06.2009. 23 с.
17. Орлов В. Н. Руководство по электрокардиографии. М. : Медицина, 1984. 528 с.
18. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем : методические рекомендации / под ред. Р. М. Бавеского // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
19. Бокерия Л. А., Ревитов А. Ш., Неминуций Н. М., Проничева И. В. Внезапная сердечная смерть. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 352 с.
20. Патент 2441600 Российская Федерация, А61В 10/00 (2006.01). Способ зонирования территории по уровню риска для здоровья населения в условиях воздействия химически опасных веществ / Зайцева Н. Н., Май И. В., Клейн С. В. [и др.]. № 2010136638/14 ; заявл. 31.08.2010 ; опубл. 10.02.2012. 25 с.
21. Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака : федер. закон № 15-ФЗ от 23.02.2013.
22. Гайнулин Ш. М., Лазебник Л. Б., Назаренко И. В., Дроздов В. Н. Табакокурение и риск сердечно-сосудистых заболеваний среди трудоспособного населения Москвы // Российский кардиологический журнал. 2006. № 1. С. 5–7.

### *References*

1. Passport of the national project national program "Digital Economy of the Russian Federation" : [approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Presidential Council for Strategic Development and National Projects dated June 4, 2019 No. 7]. (In Russ.)

2. Passport of the national project "Healthcare" : [approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation on Strategic Development and National Projects dated December 24, 2018 No. 16]. (In Russ.)
3. Service BIOT. (In Russ.). Available at: <https://biotservice.com/>
4. Predictive analytics platform Webiomed. (In Russ.). Available at: <https://webiomed.ai/>
5. KardiRu – personal control of your heart. (In Russ.). Available at: <https://kardi.ru/>
6. DoctorSmart is a blockchain ecosystem for medicine and teleconsultations. (In Russ.). Available at: <http://smartdoctor.io/>
7. Doctor's Handbook. (In Russ.). Available at: <https://www.medsolutions.ru/apps/spravochnik-vracha/>
8. Bodin O.N. Systems of noninvasive control of the state of the heart. DSc dissertation. Penza, 2008:35. (In Russ.)
9. Bezborodova O.E., Kramm M.N., Ozhikenov K.A., Ozhikenova A.K. *Mul'tiagentnye tekhnologii v meditsinskikh informatsionnykh sistemakh = Multi-agent technologies in medical information systems*. Almaty: Lantar Treyd, 2021:314. (In Russ.)
10. Morman D., Kheller L. *Fiziologiya serdechno-sosudistoy sistemy = Physiology of the cardiovascular system*. Saint Petersburg: Piter, 2000:256. (In Russ.)
11. Patent 2644303 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01), A61B 5/0456 (2006.01). Method of providing emergency cardiological care. Bodin O.N., Arzhaev D.A., Bodin A.Yu. [et al.]. No. 2016145352; appl. 18.11.2016; publ. 08.02.2018:26. (In Russ.)
12. Passport of the national project national program "Digital Economy of the Russian Federation" : [approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Presidential Council for Strategic Development and National Projects dated June 4, 2019 No. 7]. (In Russ.)
13. Patent 2651068 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Method of noninvasive determination of electrophysiological characteristics of the heart. Bodin O.N., Bodin A.Yu., Zhikhareva G.V. [et al.]. No. 2017123613; appl. 05.07.2017; publ. 18.04.2018:40. (In Russ.)
14. Titomir L.I., Kneppo P., Trunov V.G., Aydu E.A.I. *Biofizicheskie osnovy elektrokardiograficheskikh metodov = Biophysical foundations of electrocardiographic methods*. Moscow: Fizmatlit, 2009:224. (In Russ.)
15. Patent 2651068 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Method of noninvasive determination of electrophysiological characteristics of the heart. Bodin O.N., Bodin A.Yu., Zhikhareva G.V. [et al.]. No. 2017123613; appl. 05.07.2017; publ. 18.04.2018:40. (In Russ.)
16. Patent 2358646 Russian Federation, A61B 5/0402 (2006.01). Method of modeling and visualization of excitation propagation in the myocardium. Bodin O.N., Gladkova E.A., Kuz'min A.V. [et al.]. No. 2007123430/14; appl. 27.12.2008; publ. 20.06.2009:23. (In Russ.)
17. Orlov V.N. *Rukovodstvo po elektrokardiografii = Manual of electrocardiography*. Moscow: Meditsina, 1984:528. (In Russ.)
18. Baevskiy R.M. (ed.). Analysis of heart rate variability when using various electrocardiographic systems : methodological recommendations. *Vestnik aritmologii = Bulletin of Arrhythmology*. 2001;(24):65–87. (In Russ.)
19. Bokeriya L.A., Revishvili A.Sh., Neminushchiy N.M., Pronicheva I.V. *Vnezapnaya serdechnaya smert' = Sudden cardiac death*. Moscow: GEOTAR-Media, 2020:352. (In Russ.)
20. Patent 2441600 Russian Federation, A61B 10/00 (2006.01). Method of zoning the territory according to the level of risk to public health under exposure to chemically hazardous substances. Zaytseva N.N., May I.V., Kleyn S.V. [et al.]. No. 2010136638/14; appl. 31.08.2010; publ. 10.02.2012:25. (In Russ.)

21. On the protection of citizens' health from the effects of ambient tobacco smoke and the consequences of tobacco consumption: Federal Law No. 15-FZ of 23.02.2013. (In Russ.)
22. Gaynulin Sh.M., Lazebnik L.B., Nazarenko I.V., Drozdov V.N. Tobacco smoking and the risk of cardiovascular diseases among the able-bodied population of Moscow. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal = Russian Cardiological Journal*. 2006;(1):5–7. (In Russ.)

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

**Феруза Абубакировна Сатыбалдиева**  
докторант,  
Казахский национальный  
исследовательский технический  
университет имени К. И. Сатпаева  
(Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)  
E-mail: feruza201200@gmail.com)

**Feruza A. Satybaldieva**  
Doctoral student,  
K.I. Satpayev Kazakh National  
Research Technical University  
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

**Олег Николаевич Бодин**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры технического  
управления качеством,  
Пензенский государственный  
технологический университет  
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова, 1А)  
E-mail: bodin\_o@inbox.ru)

**Oleg N. Bodin**  
Doctor of technical sciences, professor  
of the sub-department of technical  
quality management,  
Penza State Technological University  
(1A Baydukov passage, Penza, Russia)

**Михаил Вячеславович Едемский**  
аспирант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: misha.f.2015@mail.ru

**Mikhail V. Edemskiy**  
Postgraduate student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Касымбек Адильбекович Ожикенов**  
кандидат технических наук,  
заведующий кафедрой робототехники  
и технических средств автоматизации,  
Казахский национальный  
исследовательский технический  
университет имени К. И. Сатпаева  
(Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а)  
E-mail: k.ozhikenov@satbayev.university

**Kassymbek A. Ozhikenov**  
Candidate of technical sciences,  
head of the sub-department of robotics  
and technical means of automation,  
K.I. Satpayev Kazakh National  
Research Technical University  
(22a Satpayev street, Almaty, Kazakhstan)

**Михаил Николаевич Крамм**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры основ радиотехники,  
Национальный исследовательский  
университет «МЭИ»  
(Россия, г. Москва,  
ул. Красноказарменная, 14)  
E-mail: krammn@mail.ru)

**Mikhail N. Kramm**  
Doctor of technical sciences, professor of  
the sub-department of fundamentals of ra-  
dio engineering,  
National Research University MPEI  
(14 Krasnokazarmennaya street,  
Moscow, Russia)

**Андрей Юрьевич Бодин**  
аспирант,  
Национальный исследовательский  
университет «МЭИ»  
(Россия, г. Москва,  
ул. Красноказарменная, 14)  
E-mail: bodin98@mail.ru

**Andrey Yu. Bodin**  
Postgraduate student,  
National Research University MPEI  
(14 Krasnokazarmennaya street,  
Moscow, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 16.01.2022**

**Поступила после рецензирования/Revised 20.03.2022**

**Принята к публикации/Accepted 20.04.2022**