

УДК 614.2: 004.9

DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0016

СТРУКТУРА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ

© 2021

Бекбай Айнұр Токтарғалиқызы, докторант

Ожикенов Касымбек Адильбекович, кандидат технических наук,
заведующий кафедрой «Робототехники и технических средств автоматизации»

НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Казахстан, Алматы ул. Сатпаева, 22а, e-mails: ainura_b.t@mail.ru, k.ozhikenov@satbayev.university)

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук,

профессор кафедры «Техническое управление качеством»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / улица Гагарина, д.1а/11, bodin_o@inbox.ru)

Чекайкин Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Техническое управление качеством»

Пензенский государственный технологический университет

(440039, Россия, г. Пенза, проезд Байдукова / улица Гагарина, д.1а/11)

Алимбаев Чингиз Абдраимович, доктор phd,

лектор кафедры «Робототехники и технических средств автоматизации»

НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева

(050013, Казахстан, Алматы ул. Сатпаева, 22а, e-mail: c.alimbayev@stud.satbayev.university)

Аннотация. Повышение эффективности диагностики функционального состояния организма на основе современных информационных технологий является актуальной задачей системы здравоохранения. Современные технологии дают возможность врачу получать пространственно-временную информацию о состоянии человека, удобную для визуального восприятия. Целью статьи является разработка структуры медицинской информационной диагностической системы на основе мультиагентной технологии с использованием облачных вычислений. С этой целью предлагается создание «цифровых двойников», моделирующих активность систем и органов человека и отображающих их физическое состояние. Назначение таких двойников – выявление и прогнозирование течения заболеваний, индивидуализация назначаемых лечебных процедур, выработка рекомендаций по корректировке образа жизни предотвращения осложнений. Так цифровой двойник сердца осуществляет по электрокардиосигналам анализ и визуализацию информации об электрической активности сердца, информационное взаимодействие с другими интеллектуальными агентами системы. На основе мультиагентной технологии разработана структура медицинской информационной системы, позволяющей расширить функциональные и диагностические возможности неинвазивной электрокардиографии при скрининговом обследовании населения.

Ключевые слова: медицинская информационная система, мультиагентная технология, облачные вычисления, цифровой двойник сердца, прогнозирование внезапной сердечной смерти.

STRUCTURE OF THE MEDICAL INFORMATION SYSTEM BASED ON MULTI-AGENT TECHNOLOGY

© 2021

Bekbay Ainur Toktagalikyzy, PhD student

Ozhikenov Kassymbek Adilbekovich, candidate of technical sciences,
head of the department of "Robotics and Technical Means of Automation»

Satbayev University

(50013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev str., 22a, e-mails: ainura_b.t@mail.ru, k.ozhikenov@satbayev.university)

Bodin Oleg Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor

of the department of «Technical Quality Management»

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov passage / Gagarina street, 1a / 11, bodin_o@inbox.ru)

Chekaikin Sergey Vasilyevich, candidate of technical sciences, associate professor,

head of the department "Technical Quality Management"

Penza State Technological University

(440039, Russia, Penza, Baydukov passage / Gagarina street, 1a / 11)

Alimbayev Chingiz Abdaimovich, doctor of PhD,

lecturer of the department of "Robotics and Technical Means of Automation»

Satbayev University

(50013, Kazakhstan, Almaty, Satpayev str., 22a, e-mail: c.alimbayev@stud.satbayev.university)

Abstract. Improving the efficiency of the health care system in the diagnosis of the functional state of the body (FSB) on the basis of modern information technologies is an urgent task. At the same time, it becomes possible to present to doctors in a visual form spatiotemporal information about the FSB. The purpose of the article is to develop the structure of the medical information system (MIS) of a medical organization based on multi-agent technology and cloud computing. It is proposed to use the technology of "digital doubles" (DD), which simulates the body, systems and organs of a person, and displays his physical condition. The mission of the DD in the field of medicine is to make treatment individualized for each person, to learn how to predict certain diseases, as well as to give recommendations on the lifestyle to prevent them. The heart's central nervous system uses electrocardiosignals (ECS) to analyze and visualize the electrical activity of the heart (EAH); to model and monitor the state of the EAH; intelligent interaction with other intelligent MIS agents. The developed structure of the MIS based on multi-agent technology allows to expand the functional and diagnostic capabilities of non-invasive electrocardiodiagnostics in the examination of the general population.

Keywords: medical information systems, multi-agent technologies, cloud computing, digital heart twin, predicting sudden cardiac death.

Введение. В современных условиях совершенствование системы здравоохранения связано с переводом медицины в цифровой формат [1] и использованием искусственного интеллекта [2], что позволяет повысить качество оказываемых медицинских услуг, в том числе, с использованием сети Интернет, когда осуществляется оценка функционального состояния организма и прогнозирование динамики лечения [3 – 6], а также предоставление врачу необходимой справочной информации [7]. Однако, анализ способов и средств диагностики функционального состояния организма в рамках медицинских информационных систем организации здравоохранения показывает, что они не обеспечивают необходимую эффективность диагностики. Без использования современных информационных технологий невозможно получение достоверной информации о функционального состояния организма пациента.

По мнению авторов, мультиагентная технология является инструментом, обеспечивающим реализацию решений врача в составе медицинской информационной системы медицинской организации [8] и

необходима для интеллектуального сбора и анализа данных о лекарственных препаратах и лечебно-диагностических процедурах параметрах функционального состояния организма человека, записей электронных медицинских карт пациентов.

Избежание врачебных ошибок и повышение эффективности оказания медицинских услуг является основной задачей, на решение которой направлено использование современных информационных технологий.

Материалы и методы исследования. Мультиагентная система представляет собой комплекс аппаратно-программных средств, включающий сервер медицинской информационной системы медицинской организации (МИС МО) на котором расположены база данных с системой управления, мультиагентная подсистема с выходом через локальную сеть медицинской информационной системы медицинской организации к автоматизированным рабочим местам пользователей и интернет-порталу МИС МО, а также с выходом в единую государственную информационную систему здравоохранения (рис. 1).

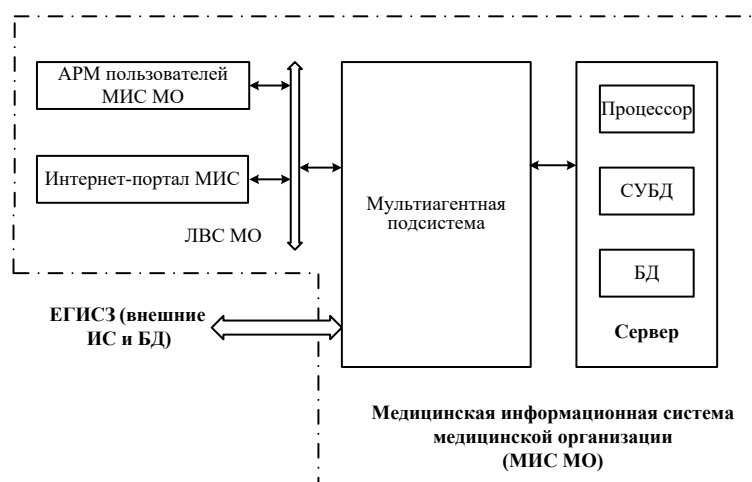


Рисунок 1 – Структура медицинской информационной системы медицинской организации

Мультиагентная система обеспечивает сбор данных для:

- ведения база данных медико-экономических групп база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур и база данных пара-

метров человека;

- поиска медицинских данных о состоянии здоровья пациента путем взаимодействия с МИС других МО, находящихся в структуре единой государственной информационной системы здравоохранения и

формирования (редактирования) электронная медицинская карта пациента;

- обеспечения информационной надежности путем защиты данных и доступа к внешним системам и база данных, а также обеспечения целостности данных МИС МО;

- индивидуализации оптимальной схемы лечения пациента путем определения перечня рекомендованных к применению лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур с учетом противопоказаний индивидуальной непереносимости;

- корректировки параметров индивидуальной схемы лечения путем сравнения фактических параметров состояния здоровья пациента с целевыми из база данных параметров человека, выявления отклонения и формирования корректирующего воздействия при обнаружении отклонений, пользование которыми специалистами МО осуществляется через автоматизированным рабочим местам (ноутбуки, планшеты, терминалы и т.п.) с помощью встроенных в них средств индивидуализации схемы лечения.

Работа мультиагентная система состоит в разбиении сложной задачи, решаемой одним объектом – централизованной МИС, на более простые задачи, обрабатываемые несколькими объектами – распределенной системой интеллектуальных агентов. Обоснование количества и функционала интеллектуальных агентов определяется функционалом МИС:

- сбор и анализ данных;
- контроль процесса лечения;
- управление схемой лечения;
- обеспечение безопасности и надежности функционирования системы.

Как показано на рисунке 2, в функционировании МАС участвуют пять агентов, а именно агент ведения база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур, агент формирования электронных медицинских карт, агент индивидуализации схемы лечения, агент прогноза течения болезни и агент информационной надежности. Каждый из них имеет собственные цели и назначение. Агент ведения база данных лекарственных препаратов и лечебно-диагностических процедур и агент формирования электронных медицинских карт имеют локальную и мобильную части. Локальная часть расположена на сервере МО и выполняет функции, связанные с анализом, обработкой и визуализацией данных. Мобильная часть интеллектуальных агентов «путешествует» по сети, собирая информацию по запросу пользователя МИС МО. Остальные агенты являются локальными и за пределы МИС МО не выходят. Но, взаимодействуя, все пять интеллектуальных агентов работают для достижения общей цели, которая заключается в оптимизации, индивидуализации, персонификации и повышении на этой основе эффективности оказываемых лечебно-диагностических услуг.

Инициализация работы МАС выполняется любым из интеллектуальных агентов в зависимости от запроса пользователя внутри МИС МО или пользователя из

единой государственной информационной системы здравоохранения, и начинается с уведомления агентом блока управления база данных о начале его работы. Это подключает всех остальных интеллектуальных агентов, которые также уведомляют сервер имен о своих именах и IP-адресах; затем сервер имен обновляет свою база данных и выполняет необходимую процедуру регистрации интеллектуальных агентов; все агенты уведомляют блок управления база данных о своих задачах. После этого блок управления база данных заполняет свою базу данных информацией о способностях интеллектуальных агентов. После процесса инициализации агенты начинают свою работу. Одним из основных интеллектуальных агентов, обеспечивающих эффективность лечения, является агент прогноза течения болезни, в составе которого необходимо выделить цифровой двойник сердца.

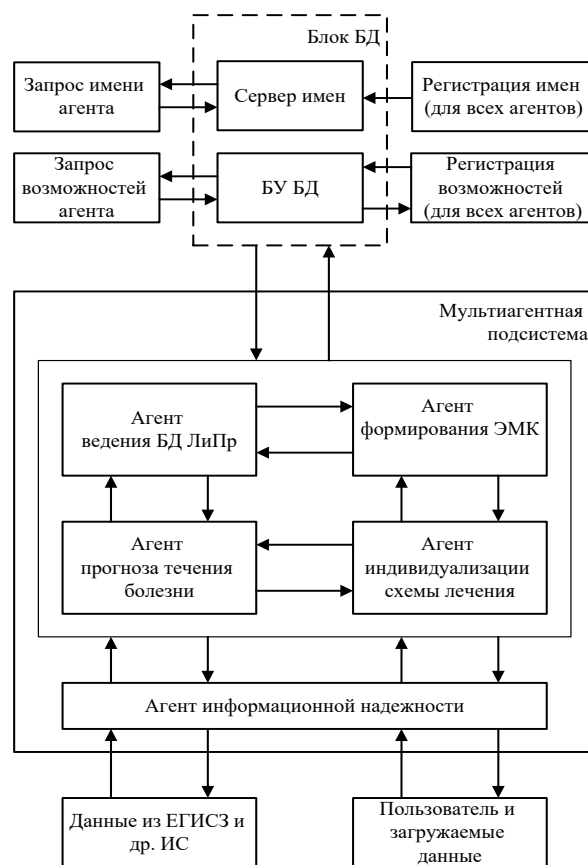


Рисунок 2 – Структура мультиагентной системы в медицинских информационных системах организации здравоохранения

При решении любых задач все интеллектуальных агентов взаимодействуют с агентом информационной надежности, который организует и контролирует допуск к работе со всеми база данных при запросах из локальной вычислительной сети МИС МО или из единой государственной информационной системы здравоохранения.

Результаты исследования. Таким образом, МАС незаменима при реализации важнейшей функции системы поддержки принятия врачебных решений – прогнозировании риска внезапной сердечной смерти,

представляющей собой сердечно-сосудистое осложнение, вызванное синергетическим взаимодействием факторов риска [9, 10]. Признаки ВСС выявляются цифровой двойник сердца [11]. Структурная схема цифрового двойника, приведенная на рисунке 3, содержит:

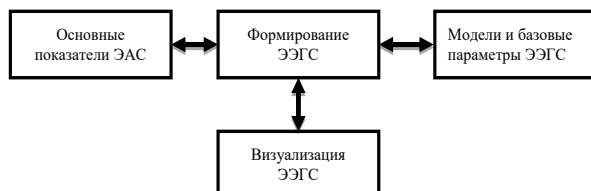


Рисунок 3 – Структурная схема цифрового двойника сердца

– блок моделей эквивалентных электрических генераторов сердца (ЭЭГС) на основе моделей поверхностей торса и эпикарда, предоставляющий выбор моделей и параметров ЭЭГС;

– блок формирования индивидуального ЭЭГС обследуемого на основании зарегистрированного электрокардиосигнала (ЭКС) и предоставляемых моделей;

– блок визуализации электрической активности сердца (ЭАС) на основании полученных индивидуальных ЭЭГС обследуемого;

– блок основных параметров сердца пациента, включая основные параметры сердечного ритма, параметры вариабельности сердечного ритма, параметры гемодинамики, параметры ЭКГ ВР и др.

Цифровой двойник от блока регистрации ЭКС получает текущую электрокардиологическую информацию об обследуемом в виде записей ЭКС. Результаты обработки ЭКС цифровой двойник предоставляет агенту выбора схемы лечения. ЭАС анализируется с помощью эквивалентных распределенных динамических источников электрической активности – эквивалентных электрических генераторов сердца Л.И. Титомира, в классической монографии которого приведен основательный обзор работ по математическому моделированию ЭАС и построению моделей ЭЭГС [12, 13]. Мультиполярная модель ЭЭГС Л.И. Титомира предоставляет принципиальную возможность точного решения электрокардиографических задач.

При ограниченных вычислительных возможностях сервера медицинской организации осуществляется выход на сервер единой государственной информационной системы здравоохранения для расчета ЭЭГС обследуемого, результаты которого возвращаются врачу-кардиологу и визуализируются (рис. 4) [14].

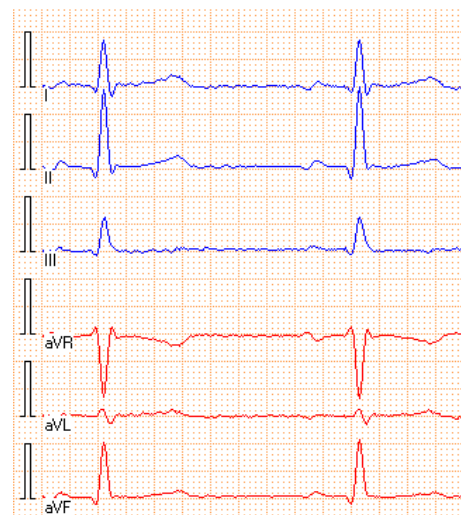
По результатам обследования электрической активности сердца пациента врач-кардиолог может спрогнозировать риск сердечно-сосудистых осложнений (ССО). Основными факторами риска сердечно-сосудистых осложнений являются [15]:

– показатели функционального состояния пациента, такие как снижение вариабельности сердечного ритма [16] и наличие ишемической болезни сердца и инфаркта миокарда [17], гемодинамически значимой аритмии из-за низкой фракции выброса левого желу-

дочка [10], артериальной гипертонии, сахарного диабета и повышенного холестерина;

– состояние окружающей среды [18];

– образ жизни пациента и наличие вредных привычек [19, 20].



А – Зарегистрированный электрокардиосигнал



Б – Облачное моделирование распространения возбуждения

Рисунок 4 – Визуализация результата обследования пациента на мониторе автоматизированном рабочим местам врача-кардиолога

Алгоритм прогноза сердечно-сосудистых осложнений построен на балльном подходе, согласно которому риск ССО определяется простым суммированием баллов по факторам риска.

Заключение. Проведённое исследование показало, что наличие цифрового двойника сердца в составе медицинской информационной системы обеспечивает выявление предрасположенности и предотвращение внезапной сердечной смерти.

Разработанная структура медицинской информационной системы в состоянии обеспечить свободный доступ пациента к службам здравоохранения вне зависимости его местонахождения, значительно повысить эффективность и доступность высокотехнологичных

медицинских услуг и достоверно оценить функциональное состояние организма пациента.

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. URL: <https://www.digital-energy.ru/trends/analytics/projects/digital-economy-of-the-russian-federation/>
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. URL: <https://www.digital-energy.ru/trends/analytics/projects/digital-economy-of-the-russian-federation/>
3. Сервис BIOT, дистанционный мониторинг здоровья и предупреждение развития заболеваний: сайт. – 2021. – URL: <https://biotservice.com/> (дата обращения: 01.07.2021)
4. Прогнозная аналитика и управление рисками в здравоохранении на основе машинного обучения: сайт. – 2021. – URL: <https://webiomed.ai/> (дата обращения: 01.07.2021)
5. КардиПу персональный контроль вашего сердца: сайт. – 2021. – URL: <https://kardi.ru/> (дата обращения: 01.07.2021)
6. Innovative platform for digital healthcare and wellness services: сайт. – 2021. – URL: <https://drsmart.io/> (дата обращения: 01.07.2021)
7. Справочник Врача: сайт. – 2021. – URL: <https://www.medsolutions.ru/#/manual/> (дата обращения: 01.07.2021)
8. Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах / Безбородова О.Е., Крамм М.Н., Ожикенов К.А., Ожикенова А.К. Под редакцией О.Н.Бодина // Алматы: ТОО "Лантар Трейд", 2021 – 314 с.
9. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. – С-Пб: Питер, 2000, 256 с.
10. Патент № 2644303 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), А61В 5/0456 (2006.01). Способ оказания экстренной кардиологической помощи : № 2016145352 : заявл. 18.11.2016 : опубл. 08.02.2018 / Бодин О.Н., Аржаев Д.А., Бодин А.Ю., Ожикенов К.А., Полосин В.Г., Рахматуллин А.Ф., Рахматуллин Р.Ф., Рахматуллин Ф.К., Сафронов М.И., Сергеев А.С., Убиенных А.Г. – 26 с.
11. 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.
12. Титомир Л.И., Кнеппо П., Трунов В.Г., Айду Э.А.И. Биофизические основы электрокардиографических методов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 224 с.
13. Патент № 2651068 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01), G06N 7/06 (2006.01). Способ неинвазивного определения электрофизиологических характеристик сердца : № 2017123613 : заявл. 05.07.2017 : опубл. 18.04.2018 / Бодин О.Н., Бодин А.Ю., Жихарева Г.В., Крамм М.Н., Палютин Ю.А., Стрелков Н.О., Черников А.И. – 40 с.
14. Патент № 2358646 Российская Федерация, А61В 5/0402 (2006.01). (54) Способ моделирования и визуализации распространения возбуждения в миокарде: № 2007123430/14 : заявл. 27.12.2008 : опубл. 20.06.2009 / Бодин О.Н., Гладкова Е.А., Кузьмин А.В., Митрохина Н.Ю., Мулюкина Л.А., Строкова И.В. – 23 с.
15. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. – М.: Медицина, 1984, 528с.
16. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). Под ред. Баевского Р.М. // Вестник аритмологии, 2001, № 24, 65–87с.
17. Бокерия Л.А., Ревиншвили А.Ш., Неминуший Н.М., Проничева И.В. Внезапная сердечная смерть. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020. – 352 с.
18. Патент № 2441600 Российская Федерация, А61В 10/00 (2006.01). (54) Способ зонирования территории по уровню риска для здоровья населения в условиях воздействия химически опасных веществ: № 2010136638/14 : заявл. 31.08.2010 : опубл. 10.02.2012 / Зайцева Н.Н., Май И.В., Клейн С.В., Вековщина С.А., Балашов С.Ю. – 25 с.
19. Федеральный закон N15-ФЗ от 23.02.2013 "Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма и последствий потребления табака".
20. Табакокурение при сердечно-сосудистых заболеваниях среди трудоспособного населения. Москвы / Ш.М. Гайнуллин [и др.] // Российский кардиологический журнал. - 2006. - №1(57). - С. 5-7.

Статья поступила в редакцию 09.06.2021

Статья принята к публикации 15.09.2021