

DOI: 10.18469/ikt.2024.22.1.09

**Lyozin Ilya Alexandrovich**, Samara National Research University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russian Federation; Head of Information Systems and Technologies Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 902 320-92-99. E-mail: lezin.ia@ssau.ru

### References

1. Kryakhtunov G.M., Boronnikov A.S. Approaches to creating a proprietary data presentation format. *International Journal of Open Information Technologies*, 2024, vol. 12, no. 5, pp. 141–150. (In Russ.)
2. Turnquist G. *Learning Spring Boot 3.0. Third Edition*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2022, 270 p.
3. Dwyer G. *Flask by Example*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2016, 276 p.
4. Price M. *C# 12 and .NET 8 – Modern Cross-Platform Development Fundamentals – Eighth Edition*. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2023. 828 p.
5. Arkov V.Yu. *Business Analytics. Data Extraction, Transformation and Loading*. Ridero, 2020, 128 p. (In Russ.)
6. Kanaev K.A., Faleeva E.V., Ponomarchuk Yu.V. Comparative analysis of data exchange formats for applications with client-server architecture. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2015, no. 2-25, pp. 5569–5572. (In Russ.)
7. An introduction and comparison of several common java serialization frameworks. URL: [https://www.alibabacloud.com/blog/an-introduction-and-comparison-of-several-common-java-serialization-frameworks\\_597900](https://www.alibabacloud.com/blog/an-introduction-and-comparison-of-several-common-java-serialization-frameworks_597900) (accessed: 15.06.2024).
8. Java-serialization: maximum of speed without a fixed data structure. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/488612/> (accessed: 15.06.2024). (In Russ.)
9. Optimizing data serialization: faster alternatives to JSON. URL: <https://medium.com/@shipshoper986/optimizing-data-serialization-faster-alternatives-to-json-a3685d21008/> (accessed: 05.07.2024).
10. Dubakov A.A. *Network Programming*: Textbook. Saint Petersburg: NIU ITMO, 2013, 248 p. (In Russ.)

Received 20.06.2024

## НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.94

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПАЦИЕНТУ НА БАЗЕ mHEALTH-ПРИЛОЖЕНИЯ

Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р., Нужин В.И.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: [dijazitdinova@mail.ru](mailto:dijazitdinova@mail.ru)

В работе представлено описание мобильного приложения mHealth-класса, с помощью которого пользователь может получить возможность расшифровки результатов общего анализа крови. Данный анализ, с точки зрения статистики, является одним из самых часто назначаемых и информативных, поскольку он позволяет врачу сделать первичные выводы о состоянии здоровья пациента. Общий анализ крови – это не один анализ, а совокупный комплекс показателей, каждый из которых в отдельности может сигнализировать о различных заболеваниях. Современные решения в области mHealth-здравоохранения содействуют получению пациентом своевременного и полноценного лечения. На рынке существует значительное число приложений для осуществления мониторинга здоровья (в том числе и анализа крови), однако они зачастую имеют ограниченную функциональность или предоставляют формальные и общеизвестные, а не персонализированные сведения о состоянии здоровья. Инструментом обеспечения персонализированного подхода к пользователю может выступать онтология. Онтология в разрабатываемом мобильном приложении рассматривается не просто как некоторое неформальное описание базы знаний, а как основа базы данных для упрощения процесса наполнения и поддержания онтологии в акту-

альном состоянии. Приложение разработано для операционной среды Android, для данного варианта был выбран следующий набор инструментов: язык программирования Java, платформа Firebase и библиотеки FirebaseStore, DatabaseReference, Firebase.

**Ключевые слова:** *mhealth-приложение, мобильное приложение, мониторинг крови, общий анализ крови, персонализированный подход, онтология*

## Введение

Медицинские мобильные приложения (mHealth) в современном цифровом мире становятся все более популярными и распространенными среди пользователей, так как позволяют без особых усилий получить доступ к интересующей информации, а также медицинским услугам. Согласно [1], медицинскими мобильными приложениями считается разнородная группа приложений, ориентированных на улучшение здоровья и самочувствия больных. Сегодня основной целью разрабатываемых медицинских мобильных приложений является формирование оптимального плана своевременного, максимально эффективного и персонализированного лечения пациента.

Развитие ИТ в медицине выявило один из самых трудных аспектов: зачастую при создании медицинского программного продукта наибольшую трудоемкость и сложность представляет не сам процесс формирования программного кода как таковой, а задача структуризации и алгоритмизации выбранной области медицины. В частности, разрабатываемая формализованная модель должна быть полной (но не избыточной), включать необходимые и привычные медикам профессиональные термины (но не содержать распространенных синонимов: например, «жар» и «повышенная температура» иногда трактуются как одно и то же), быть актуальной и достоверной; кроме того, используемые медицинские сведения требуется периодически обновлять в связи с появлением новых результатов исследований. С учетом данных аспектов, одним из удобных инструментов считается онтологический подход. В контексте разработки приложений mHealth-класса онтология может выступать инструментом для классификации, формализации и структуризации медицинских данных.

В работе освещается проект по созданию приложения, которое предоставляет пользователю возможность получить расшифровку комплекса показателей, составляющих общий анализ крови (ОАК), для осуществления мониторинга здоровья, повышения осведомленности, обеспечения профилактики заболеваний и формирования здорового образа жизни. Периодическая оценка биометрических параметров организма и выявление симптомов выступают основными составляющими

ми профилактики заболеваний и их осложнений. В связи с вышесказанным, разработка медицинских мобильных приложений, предназначенных для мониторинга и улучшения здоровья конкретного человека, представляется актуальной задачей.

## Обзор современного состояния проблемы

Анализ научных публикаций, доступных в открытой печати, свидетельствует о росте числа исследований, а также количества программных продуктов и мобильных приложений в области персонализированной медицины.

В [1] отмечается, что развитие и внедрение mHealth-приложений может оказывать значительное влияние на различные сферы здравоохранения, например, управление хроническими и аутоиммунными заболеваниями, контроль психического и эмоционального состояния, а также просвещение пациентов и освещение их прав и возможностей. Данные приложения позволяют пользователям самостоятельно контролировать состояние собственного здоровья, при необходимости получать рекомендации и советы по ведению здорового образа жизни, а также предсказывать возможные проблемы со здоровьем. Но, отдельно следует отметить, что мобильные приложения нельзя считать заменой врача, их следует рассматривать только как средство контроля и инструмент (своеобразный дневник) для учета и регистрации полученных результатов.

В [2; 3; 4] указаны результаты исследования проведенного наукометрического анализа возможностей мобильного здравоохранения. Как показывают исследования, не существует единой четко прослеживаемой классификации мобильных приложений. Тем не менее, можно выделить два укрупненных тренда: к первому относятся программные продукты, осуществляющие сбор, хранение и распространение медицинских данных (к этому направлению следует относить и организацию взаимодействия пациент – врач), ко второму – различные сенсоры и гаджеты, с помощью которых осуществляется мониторинг состояния здоровья человека в реальном времени (кардиостимуляторы, пульсоксиметры, фитнес-браслеты и прочее). Отдельным направлением можно отметить узкоспециализированные приложения, предназначенные для женщин (ве-

дение беременности, отслеживание менструального цикла и т.п.).

В статье дано описание создаваемого мобильного приложения «ЯМониторинг», основным назначением которого является осуществление контроля состояния здоровья путем расшифровки общего (клинического) анализа крови (ОАК). Целью разработки проекта «ЯМониторинг» является предоставление возможности пользователю оперативно получать детальную информацию о состоянии собственного здоровья и индивидуальные рекомендации для поддержания его на приемлемом уровне.

Самым распространенным и часто назначаемым анализом лабораторной диагностики является ОАК, так как, с одной стороны, этот анализ достаточно дешев, с другой стороны, – информативен и предоставляет врачу возможность поставить первичный диагноз. Формально ОАК – это комплекс показателей, каждый из которых «отвечает» за разные заболевания. На рынке программных продуктов можно встретить мобильные приложения, выполняющие функции контроля состояния здоровья и расшифровки анализов крови, но они часто предоставляют либо общеизвестные сведения, либо «отправляют» пользователя записаться к врачу на очный прием для последующей расшифровки (т.е. фактически представляют собой некий сервис для регистрации в медклинике). Отдельные медицинские приложения «заточены» под определенные распространенные заболевания (например, сахарный диабет) и основной анализ делается под конкретный показатель (в случае сахарного диабета, это уровень глюкозы, гликированный гемоглобин и пр.). Наиболее близким аналогом можно считать приложение Medicalab App, основанное на алгоритмах машинного обучения, которое в настоящий момент работает как прототип и ориентировано на идентификацию преддиабетического состояния (<https://www.belta.by/>).

При разработке первой версии мобильного приложения «ЯМониторинг» для верификации онтологической модели было выбрано ограниченное число симптомов и также не были рассмотрены редкие диагнозы, которые могут быть определены по изменению значений ОАК. При дальнейшей работе количество симптомов и число диагнозов могут быть увеличены.

### **Использование онтологии в mHealth-приложении**

Общий анализ крови состоит из комплекса показателей, каждый из которых в отдельности

может предсказывать различные заболевания [5; 6; 7; 8; 9]. Например, на основании ОАК можно установить железодефицитную анемию, наличие в организме инфекционного процесса, гиперчувствительность (аллергическую реакцию) на какие-то вещества, паразитарные инфекции, лейкоз и иные заболевания.

Человеческая кровь содержит большое число элементов, каждый из которых оказывает влияние на работу человеческого организма в целом. Если человек здоров, то количество и соотношение этих элементов друг с другом не выходят за интервалы референсных значений. Но если человек заболевает, то баланс нарушается. Самым быстрым и дешевым, и в то же время информативным способом отследить данные изменения, является сдача общего (клинического) анализа крови. Следует отметить, что на основании одного общеклинического анализа, лечение не назначается.

При этом, несмотря на распространенность ОАК, некоторую сложность представляет процесс трактовки/расшифровки показателей ОАК: большинство терапевтов (или узких специалистов) смотрят на имеющиеся отклонения показателей или значения показателей, «отвечающих» за специализацию врача. Для принятия корректных диагностических решений врач должен рассматривать значения показателей ОАК в совокупности. Все это держать в памяти и принимать безошибочные и своевременные решения в условиях нехватки времени становится все сложнее.

Одним из инструментов, который позволяет отслеживать существующие взаимосвязи и взаимную корреляцию понятий предметной области, является онтология [10]. Понятие «онтология» стало широко применяться в компьютерной области с 1990-х годов, и спецификой онтологических моделей является их изначальная ориентированность на компьютерные вычисления и машинную обработку. Онтологию можно рассматривать как систему понятий предметной области и, как правило, онтология выступает основой создания семантических сетей [11]. Если рассматривать онтологию как средство формализованного представления знаний, то следует отметить такие ее преимущества, как поддержка объектно-ориентированного подхода, позволяющего модульно описывать каждый отдельный объект предметной области, так и возможность организации гибкого логического вывода.

Реализация онтологического подхода в медицинских мобильных приложениях дает возможность реализовать ряд преимуществ [12; 13; 14; 15]:

- совокупное использование узкоспециализированных медицинских знаний и данных: онтология позволяет объединить знания из различных медицинских областей, а также позволяет применять индивидуальный подход к процессу лечения конкретного пациента с соблюдением утвержденных общепринятых медицинских протоколов лечения;

- структуризация и формализация данных: онтология позволяет представить специфические медицинские данные (термины, диагнозы, симптомы, референсные значения, закономерности) в виде сети и/или иерархии;

- увеличение точности диагностики заболеваний пациента: многие болезни, особенно на начальных стадиях, характеризуются схожей симптоматикой, и формализация алгоритмов диагностики на основе онтологии может способствовать улучшению качества постановки диагноза.

Алгоритм вывода создаваемого приложения «ЯМониторинг» ориентирован на онтологический подход, позволяющий максимально близко сравняться с реальными выводами экспертов-медиков. Кроме того, ориентация на онтологический подход предоставляет возможность создания единой основы для описания базовых понятий проблемной области и содержит сведения, необходимые для полноценного функционирования программного продукта.

Онтологии представляют собой удобный инструмент для описания проблемной области, в том числе для создания программных продуктов и приложений с web-интерфейсом. Построение онтологий требует как экспертных знаний в исследуемой проблемной области, так и значительных затрат усилий и времени. Основной целью использования онтологии в разработанном мобильном приложении является именно визуализация закономерностей о том, какие показатели ОАК, в совокупности и по отдельности, о каких заболеваниях «сигнализируют».

Создание онтологий включает в себя сложно-формализуемый процесс выделения классов (терминов, концептов) домена (предметной области), свойств (атрибутов) классов и отношений между этими классами. В сформированной онтологии были выделены следующие компоненты:

#### 1. Понятия (термины, концепты):

- показатели крови: гемоглобин, лейкоциты, эритроциты, тромбоциты и т.д.;
- состояние здоровья (диагноз): норма, анемия, лейкоцитоз, лейкопения и т.д.;
- пользователь: включает атрибуты, такие как возраст, пол, история заболеваний.

#### 2. Свойства (атрибуты классов):

- показатель крови: референсное значение (норма), единицы измерения (г/л,  $10^9/\text{л}$  и т.д.);
- состояние здоровья: критерии диагностики (например, для анемии – уровень гемоглобина ниже 120 г/л для женщин и 130 г/л для мужчин).

#### 3. Отношения:

- влияет на: например, уровень гемоглобина влияет на диагноз анемии;
- имеет: пользователь имеет показатели крови;
- является: показатель крови является частью общего анализа крови.

#### 4. Правила:

- если уровень гемоглобина  $<120$  г/л для женщин, то состояние здоровья = анемия;
- если уровень лейкоцитов  $>10^9/\text{л}$ , то состояние здоровья = лейкоцитоз.

В мобильном приложении пользователю недоступен прямой доступ к онтологии: т.е. для внесения изменений пользователю потребуется иметь возможность корректировать непосредственно программный код. Это сделано преднамеренно, чтобы избежать несанкционированного доступа к базе знаний: как и во все продукты медицинской сферы вносить изменения должен только врач-эксперт.

### Описание работы мобильного приложения «ЯМониторинг»

Для реализации медицинского мобильного приложения «ЯМониторинг» был выбран язык программирования java, для реализации онлайн базы данных использована облачная платформа Firebase, предназначенная для разработки мобильных и web-приложений. При разработке были использованы три ключевые библиотеки: FirebaseFirestore, DatabaseReference и Firebase. Мобильное приложение разрабатывалось под операционную систему Android.

При разработке ориентировались на тип архитектуры CLEAN (чистая архитектура), который означает, что каждый слой приложения не зависит от каких-либо программ или других слоев. Была выбрана трехслойная архитектура, включающая:

- презентационный слой, который предоставляет данные пользователю;
- слой бизнес-логики, отвечающий за обмен данными и обработку операций;
- слой доступа к данным, регулирующий сохранность и обслуживание данных.

На рисунке 1 приведены основные экраны мобильного приложения. Последовательность действий пользователя следующая. Пользователь запускает приложение на своем мобильном



Рисунок 1. Основные экраны мобильного приложения «ЯМонитор»

устройстве и видит экран приветствия авторизации: через электронную почту и пароль. Введя свои учетные данные, пользователь получает доступ к главному экрану приложения. После успешной авторизации пользователь заполняет профиль, указывая личные данные: пол, возраст, вес, рост и другие параметры, влияющие на интерпретацию результатов ОАК. Эти данные сохраняются в учетной записи пользователя и используются для персонализации анализа результатов.

Затем пользователь переходит в раздел «Добавить анализ» и вводит данные о сданном ОАК, включая название лаборатории, дату сдачи анализа и полученные значения показателей ОАК (гемоглобин, лейкоциты, эритроциты и другие).

Приложение обрабатывает введенные данные о результатах ОАК, рассчитывая отклонения от нормы на основе личных данных пользователя (пол, возраст и другие параметры) и референсных интервалов для каждого показателя, входящего в состав ОАК. Приложение анализирует, какие показатели выходят за пределы референсных интервалов и оценивает степень отклонения.

Далее приложение формирует отчет, в котором подробно расшифровываются результаты анализа. Для каждого показателя, выходящего за пределы нормы, предоставляется объяснение возможных причин отклонения, а также персонализированные рекомендации по посещению врача конкретной специализации (например,

терапевта, гематолога, эндокринолога). В отчете также могут быть указаны советы по образу жизни и питанию, направленные на улучшение состояния здоровья. Все введенные данные и полученные отчеты сохраняются в учетной записи пользователя. Пользователь может просматривать историю своих анализов, чтобы отслеживать динамику показателей и эффективность принятых мер. Приложение отправляет уведомления о необходимости повторной сдачи анализов в определенные сроки и предлагает рекомендации о желательных визитах к врачам и обновления данных о состоянии здоровья на основе результатов последних анализов.

Приложение «ЯМониторинг» после доработки может быть интегрировано с другими устройствами и сервисами для автоматического получения данных (например, фитнес-трекеры, умные часы). Пользователь сможет синхронизировать данные с приложениями Apple Health или Google Fit для осуществления комплексного мониторинга здоровья.

### Заключение

Современные решения в mHealth-области способствуют получению пациентом своевременного и полноценного лечения. Результатом проведенного исследования является разработка мобильного приложения, которое обеспечит пользователей эффективным инструментом для

мониторинга и улучшения состояния здоровья. Программный продукт может быть использован для первичной персонализированной расшифровки биометрических параметров на основе общего анализа крови, позволяя пользователям принимать обоснованные решения о своем здоровье. Отличительной особенностью разработанного мобильного приложения является ориентированность на онтологический подход как единой основы для организации обмена информацией между различными группами пользователей (прежде всего, пациентами и врачами) и информационными системами для повышения ее интерпретируемости и эффективности.

### Литература

1. Мобильные медицинские приложения: возможности, проблемы и перспективы / О.Т. Ким [и др.] // Профилактическая медицина. 2021. Т. 24, № 7. С. 96–102.
2. Гусев А.В., Ившин А.А., Владимирский А.В. Российские мобильные приложения для здоровья: систематический поиск в магазинах приложений // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7, № 3. С. 224–231.
3. Классификация мобильных медицинских приложений, принципы и этические стандарты для их имплементации в клиническую практику / С.С. Сошников [и др.] // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2017. № 3 (29). С. 53–58.
4. Никитин П.В., Мурадянц А.А., Шостак Н.А. Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы // Клиницист. 2015. Т. 9, № 4. С. 13–21.
5. Липунова Е.А., Скоркина М.Ю. Физиология крови: моногр. исслед. Белгород: БелГУ, 2007. 324 с.
6. Николенко Л., Николенко Е., Головнева Е. Общий анализ крови: современное прочтение // Врач. 2020. Т. 31, № 1. С. 7–16. DOI: 10.29296/25877305-2020-01-02
7. Хиггинс К. Расшифровка клинических лабораторных анализов; под ред. В.Л. Эмануэля; пер. с англ. Е.К. Вишневской. 7-е изд. М.: Лаборатория знаний, 2016. 589 с.
8. Многопрофильный диагностический медицинский центр «Диагностика». URL: <https://www.zdorovje.ru/> (дата обращения: 31.05.2024).
9. Ситилаб. Международная сеть клиничко-диагностических лабораторий. URL: <https://citilab.ru/> (дата обращения: 01.06.2024).
10. Модель онтологии медицинской диагностики для интеллектуальных систем поддержки принятия решений в медицине / В.В. Грибова [и др.] // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 1 (27). С. 58–73.
11. Загорулько Ю.А. Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 1 (15). С. 30–46.
12. Горобец Е.А., Диязитдинова А.Р. Применение онтологического подхода при проектировании медицинского мобильного приложения // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19, № 2. С. 224–231.
13. Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р. Применение онтологии в медицинских мобильных приложениях // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 310–312.
14. Диязитдинова А.Р., Загирова А.Р., Нужин В.И. Использование MHEALTH-приложения как инструмента обеспечения персонализированного подхода к пациенту // Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи: материалы XXXI Российской научно-технической конференции. Самара: ПГУТИ, 2024. С. 312–313.
15. Нефедов Ю.В., Цыпленкова В.А. Основные тенденции и особенности развития медицинских онтологий // Врач и информационные технологии. 2018. № 4. С. 6–19.

*Получено 10.07.2024*

**Диязитдинова Альфия Радмировна**, к.т.н., доцент кафедры прикладной информатики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 917 942-57-45. E-mail: [dijazitdinova@mail.ru](mailto:dijazitdinova@mail.ru)

**Загирова Алина Рамилевна**, студент кафедры информационных систем и технологий ПГУТИ. 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 922 898-40-23. E-mail: [zagirovaalina816@gmail.com](mailto:zagirovaalina816@gmail.com)

**Нужин Владислав Иванович**, студент кафедры информатики и вычислительной техники ПГУТИ. 443090, Российская федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 266-54-39. E-mail: slavanuzhin@yandex.ru

## MHEALTH-APPLICATION FOR PATIENT PERSONALIZED APPROACH

*Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: dijazitdinova@mail.ru*

The article is devoted to the mHealth mobile application description. It allows to analyze the complete blood count. From a statistical point of view this medicine test is one of the most full and frequent one, because it allows the doctor to make initial conclusions about the patient's health condition. The complete blood count is a complex of indicators, each of which can be associated with various diseases. The mobile health application is the modern solution which helps patients to get timely and complete treatment. There are a significant number of applications for health monitoring (including blood count) on the market. But all of them often have limited functionality or do not provide sufficiently detailed and accurate information about health condition. Ontology can be considered as an instrument for ensuring personalized approach to the user. In mobile application development ontology is used not only as database but as the database basis to simplify the process of filling and maintaining the ontology up to date. The application was developed for Android operation system, and the development instruments set includes Java programming language, Firebase platform and the FirebaseStore, DatabaseReference, Firebase libraries.

**Keywords:** *mhealth-application, mobile application, blood monitoring, complete blood count, personalized approach, ontology*

**DOI:** 10.18469/ikt.2024.22.1.10

**Diyazitdinova Alfiya Radmirovna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Applied Informatics Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 917 942-57-45. E-mail: dijazitdinova@mail.ru

**Zagirova Alina Ramilevna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Student of Information Systems and Technologies Department. Tel. +7 922 898-40-23. E-mail: zagirovaalina816@gmail.com

**Zagirova Alina Ramilevna**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Student of Information Systems and Technologies Department. Tel. +7 922 898-40-23. E-mail: zagirovaalina816@gmail.com

## References

1. Kim O.T. et al. Mobile medical applications: opportunities, challenges and prospects. *Profilakticheskaya meditsina*, 2021, vol. 24, no. 7, pp. 96–102. (In Russ.)
2. Gusev A.V., Ivshin A.A., Vladimirovsky A.V. Healthcare in the smartphone: the situation in RUSSIA. *Rossiyskiy zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 224–231. (In Russ.)
3. Soshnikov S.S. et al. Classification of mobile medical applications, principles and ethical standards for their implementation in clinical practice. *Meditsinskiye tekhnologii. Otsenka i vybor*, 2017, no. 3 (29), pp. 53–58. (In Russ.)
4. Nikitin P.V., Muradyants A.A., Shostak N.A. Mobile healthcare services: possibilities, problems, prospects. *Klitsinist*, 2015, vol. 9, no. 4, pp. 13–21. (In Russ.)
5. Lipunova E.A., Skorkina M.Yu. *Physiology of blood*: Monograph Research. Belgorod: BelSU, 2007, 324 p. (In Russ.)
6. Nikolenko L., Nikolenko E., Golovneva E. Complete blood count: A modern reading. *Vrach*, 2020, vol. 31, no. 1, pp. 7–16. DOI: 10.29296/25877305-2020-01-02 (In Russ.)

7. Higgins K. *Understanding laboratory investigations*. Ed by V.L. Emanuel. Transl. From English by E.K. Vishnevskaya. 7nd ed. Moscow: Laboratoriya znaniy, 2016, 589 p. (In Russ.)
8. Multidisciplinary diagnostic Medical Center «Diagnostics». URL: <https://www.zdorovje.ru/> (accesses: 31.05.2024). (In Russ.)
9. Sitilab. An international network of clinical diagnostic laboratories. URL: <https://citilab.ru/> (accesses: 01.06.2024). (In Russ.)
10. Gribova V.V. et al. Medical diagnosis ontology for intelligent decision support systems. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2018, vol. 8, no. 1 (27), pp. 58–73. (In Russ.)
11. Zagorulko Yu.A. Semantic technology for development of intelligent systems oriented to experts in subject domain. *Ontologiya proyektirovaniya*, 2015, vol. 5, no. 1 (15), pp. 30–46. (In Russ.)
12. Gorobets E.A., Diyazitdinova A.R. Application of the ontological approach when designing a medical mobile application. *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 224–231. (In Russ.)
13. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R. Application of ontology in medical mobile applications. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 310–312. (In Russ.)
14. Diyazitdinova A.R., Zagirova A.R., Nuzhin V.I. Using mhealth applications as a tool for providing a personalized approach to patient. *Aktual'nyye problemy informatiki, radiotekhniki i svyazi: materialy XXXI Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii*. Samara: PSUTI, 2024, pp. 312–313. (In Russ.)
15. Nefedov Yu.V., Tsyplenkova V.A. Medical ontologies: current development, main trends and features. *Vrach i informatsionnyye tekhnologii*, 2018, vol. 1, no. 4, pp. 6–19. (In Russ.)

*Received 10.07.2024*

УДК 621.391

## ПОЛИГАУССОВО ОПИСАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЕМЫХ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ЛОРЕНЦА, РЕАЛИЗОВАННОЙ В ЧИСЛАХ С ФИКСИРОВАННОЙ ЗАПЯТОЙ

*Кафаров К.М., Логинов С.С., Бобина Е.А.*

*Казанский национальный исследовательский технический университет*

*им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, РФ*

*E-mail: lnexptp@gmail.com*

Статья направлена на анализ вероятностных распределений псевдослучайных процессов, сформированных на основе решения системы Лоренца в числах с фиксированной запятой. Численное решение системы Лоренца методом Эйлера в числах с плавающей запятой одинарной и двойной точности при ограниченной разрядности чисел может приводить к срыву генерации сигналов. Использование чисел с фиксированной запятой способствует снижению вычислительной сложности при цифровой реализации подобных систем, что в конечном итоге приводит к упрощению их практической реализации на современных микросхемах программируемой логики. Это приводит к более эффективному использованию ресурсов, увеличению производительности подобных цифровых систем. Исследование аппроксимации распределений вероятностей процессов, формируемых на основе системы Лоренца с использованием смесей гауссовых распределений, имеет большое значение для прогностической аналитики и устойчивости работы системы. Исключение срыва генерации сигналов также способствует формированию устойчивых режимов формирования хаотических сигналов с требуемыми статистическими характеристиками.

**Ключевые слова:** динамический хаос, динамические системы, статистические характеристики, формователи с фиксированной запятой, система Лоренца, вероятностные распределения

### Введение

Нелинейные системы с динамическим хаосом, обладая уникальной способностью порождать сложные динамические и хаотические процессы,

являются объектом активного исследования в современной науке. Эти системы находят широкое применение в различных областях, таких как, например, широкополосные коммуникационные системы, где они служат негармоническими «но-