

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)  
Студенческое научное общество Пензенского  
государственного университета  
Всероссийская группа теории информации IEEE  
ООО «ОТКРЫТЫЕ РЕШЕНИЯ»  
Общество «Знание» России, Приволжский дом знаний  
АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"»  
Университет Парул (Индия)

---

---

## ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ, ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ

*Сборник статей XXIV Международной  
научно-технической конференции*

г. Пенза, 22–23 ноября 2024 г.

П о д р е д а к ц и е й  
А. В. Кузьмина, В. В. Дрождина

---

---

## PROBLEMS OF INFORMATICS IN EDUCATION, MANAGEMENT, ECONOMICS AND TECHNICS

*Collection of articles of 24<sup>th</sup> International  
and technical conference*

Penza, 22–23 November, 2024

Edited by  
A. V. Kuzmin, V. V. Drozhdin

Пенза  
Издательство ПГУ  
2024

**Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике** : сб. ст. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 22–23 ноября 2024 г.) / под ред. А. В. Кузьмина, В. В. Дрождина. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2024. – 302 с.

ISSN 2311-0406

Исследованы теоретические и практические проблемы использования информатики в различных предметных областях. Рассмотрены проблемы теоретической информатики, вопросы разработки и использования нейронных сетей и методов машинного обучения, информационных технологий, прикладные вопросы информатики и проектирования информационных систем, а также проблемы разработки и применения информационных систем и технологий в медицине.

Издание предназначено для специалистов в области информационных технологий, занимающихся теоретическими и практическими аспектами разработки и внедрения систем прикладной информатики и автоматизированных систем.

**УДК 004**

### **П р и к а з**

о проведении XXIV Международной научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике»  
№ 873/о от 09.09.2024

Мероприятие проводится в рамках субсидии из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ

Конференция проведена при участии международного партнера – Университета Парул (Индия)

**ISSN 2311-0406**

© Пензенский государственный университет, 2024

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

---

УДК 004.94

## НЕЛИНЕЙНОСТЬ, ИРРАЦИОНАЛЬНОСТЬ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СЛОЖНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Михаил Юрьевич Бабич<sup>1</sup>, Андрей Михайлович Бабич<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>[babichmj@mail.ru](mailto:babichmj@mail.ru)

<sup>2</sup>[fieryeye@yandex.ru](mailto:fieryeye@yandex.ru)

**Аннотация.** Анализируются причины возникшей проблемы создания моделей функционирования сложных специализированных систем в конкурентной борьбе с входящим в их контур человеком. Доказывается, что источниками проблем являются нелинейность систем, наличие эмоциональных агентов и возможная иррациональность их поведения. Предлагается использование метода имитационного макетирования, частично снимающего проблему формализации процессов.

**Ключевые слова:** нелинейная система, эмоциональный агент, иррациональное поведение

## NONLINEARITY, IRRATIONALITY, EMOTIONAL STATES IN COMPLEX SPECIALIZED SYSTEMS

Michael Yu. Babich<sup>1</sup>, Andrey M. Babich<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>JSC Research and Production Enterprise "Rubin" Penza, Russia*

<sup>1</sup>[babichmj@mail.ru](mailto:babichmj@mail.ru)

<sup>2</sup>[fieryeye@yandex.ru](mailto:fieryeye@yandex.ru)

**Abstract.** The causes of the problem of modeling complex systems are investigated. Systems are in competition, a person is included in their circuit. Their nonlinearity, the presence of emotional agents and their irrational behavior are proven. It is proposed to use a method that partially removes the problem.

**Keywords:** nonlinear system, emotional agent, irrational behavior

Характерной чертой сложных специализированных систем  $S$  является наличие во внешней среде конкурента – системы  $S_c$ , аналогичной сложной системе  $S$ , глобальная цель которой противоположна и несовместима с глобальной целью системы  $S$ . Причем планы достижения целей системы  $S_c$  не известны. Любая сложная система обладает подсистемой управления (ПУ). В ней на основе собранной информации разрабатываются планы достижения локальных целей, прогнозируются последствия управляющих воздействий, направляются приказы подсистемам и акторам (человек, социальная группа), находящимся в контуре системы. Во многих исследованиях настоящего времени отмечается возникшее противоречие: с одной стороны, сложность обстановки, объем информации и необходимая скорость принятия решений требуют внедрения в ПУ подсистемы принятия решений, которая могла бы смоделировать текущую ситуацию и выдать ряд приемлемых решений, с другой – отмечается отсутствие адекватных моделей, позволяющих это осуществить. Подобная проблема характерна не только для специализированных систем, но, по-видимому, присуща всем сложным системам, находящимся в конкурентной борьбе, в рамках которых действует человек. Предлагаемые решения либо лишь частично снимают противоречие, либо основываются на методах, реализация которых откладывается на неопределенное время, либо ссылаются на аналогичные направления в других областях исследований (чаще всего упоминаются нерешенные задачи искусственного интеллекта) [1–4].

Целями предлагаемого исследования являются выявление и анализ причин сложности построения прогнозных моделей функционирования систем  $S$ , основанных на современном математическом аппарате, предложение другого пути разрешения выявленного противоречия.

Системы  $S$  удобно исследовать в форме многоагентных систем, включающих множество агентов  $A$ . Заметим, что в этом случае необходимо рассматривать тройки  $(A, S, W)$ ,  $(A_c, S_c, W_c)$ , где  $W$ ,  $W_c$  – конкурирующие суперсистемы, ставящие глобальные цели системам  $S$ ,  $S_c$ . Приведенные ниже рассуждения относительно тройки  $(A, S, W)$  аналогичны и для тройки  $(A_c, S_c, W_c)$ .

Система  $S$  является динамической системой: после получения от суперсистемы глобальной цели она меняет состояние свое и внешней среды  $C$  во времени  $t$ . Имеют место или предполагаются в ПУ переходы

$$S(t_0) \cup C(t_0) \rightarrow S(t_1) \cup C(t_1) \rightarrow \dots \rightarrow S(t_n) \cup C(t_n), \quad (1)$$

где  $t_n$  – состояния системы и среды, соответствующие достижению глобальной цели. Заметим, что система  $S_c$  входит во внешнюю среду системы  $S$  и является объектом, который поглощает энергию системы в процессе их взаимодействия. То есть это сток для системы  $S$ . Кроме того, в среду системы  $S$  входят объекты, создаваемые суперсистемой  $W$  для восполнения энергии системы, например, пополнение материальных и людских ресурсов, что является истоком для системы  $S$ .

Таким образом, система  $S$  является открытой динамической системой, активно взаимодействующей со стоками и источниками энергии. Существует ли период функционирования системы  $S$ , в котором адекватно работает математический аппарат прогнозирования? Да, когда превосходство одной из конкурирующих систем является доминирующим или система является замкнутой, то есть когда внешние параметры могут определить ее внутреннее состояние [5]. В этом случае большинство математических моделей дает хорошие результаты. Динамичная, открытая система  $S$  обладает всеми свойствами нелинейной системы: многовариантностью и возможностью выбора управляющих воздействий ПУ, необратимостью путей изменения фазовых траекторий, возможностью чередования периодов состояний системы. Как известно, для открытых, неравновесных, нелинейных систем имеет место наличие странных аттракторов, то есть точек притяжения состояний хаоса, – область случайных блужданий [6]. Если период конкуренции затягивается, отсутствует доминирование одной из конкурирующих систем или внутреннее состояние системы зависит не только от внешних факторов (система не замкнута), происходит переход системы в неустойчивое равновесие – система попадает в странный аттрактор. В этой области фазового пространства система чувствительна к малым возмущениям состояний системы и среды, которые могут привести к резкому изменению фазовой траектории. Хорошо работающая модель не в состоянии учесть вновь воз-

никшие значащие параметры, количество которых резко увеличилось. Могут наблюдаться как распад системы  $S$ , так и распад системы  $S_c$ , после чего возможны период самоорганизации распавшейся системы и переход в квазистационарный период либо отсутствие такого периода. Последний случай означает, что одна из сохранившихся конкурирующих систем достигла своей глобальной цели. Тем не менее странные аттракторы имеют свои горизонты прогноза, возможны упрощение описания системы и нахождение параметров порядка, от которых зависит определение поведения системы. Другими словами, необходимы дополнительное изучение систем и изменение созданной модели, которое сложно провести во время их активной конкуренции – требуются предварительные исследования.

В [7] приводятся сравнительные данные о скорости научно-технического прогресса начиная с 2500 г. до н.э. и до конца XX в. Делается вывод о его стремительном ускорении. Со времени выхода работы ускорение только возросло. Достаточно привести закон Мура об экспоненциальном развитии средств вычислительной техники. Поскольку конкурирующие стороны используют все научно-технические достижения, для адекватного моделирования необходимо, чтобы исследования могли учитывать все достижения, значащие для функционирования систем  $S$ . Опыт работ с системами  $S$  показывает, что так бывает далеко не всегда: например, неожиданное использование БПЛА в силовых столкновениях.

Со временем меняются не только технические возможности систем, но и характер конкуренции. В [8] исследуются гибридные войны. Существуют различные определения гибридных войн. Основываясь на этой работе (так как конкуренция систем не исчерпывается только силовой конкуренцией) введем понятие гибридной *конкуренции*. Не вдаваясь в четкое определение гибридной конкуренции (войны), определим ее как нетрадиционный метод борьбы, использующий все возможные способы. Например, для силовых структур, государств – не только военные силы; для предприятий – не только экономический способ. В [8] рассматриваются основные методы ведения гибридных войн (для нас – конкуренции). Одним из них является информационный метод – совокупность процессов, направленных на разрушение информа-

ционной среды конкурента. Если экономическое воздействие на конкурента при неустойчивом равновесии оказывает влияние на источники системы  $S$ , то информационное воздействие является более тонким. К нему относятся введение конкурента в заблуждение (намеренное искажение входной информации для ПУ), кибернетическое, психологическое воздействие и т.д. Воздействия могут быть незаметными и слабосвязанными. В этом случае справедливой становится аксиома о принадлежности агентов (человека)  $a$  не менее двум системам [9]:

$$\forall a: (\exists S_1, \exists S_2) \wedge (a \in S_1) \wedge (a \in S_2) \wedge (S_1 \neq S_2) \wedge (S_1 \not\subset S_2) \wedge (S_2 \not\subset S_1). \quad (2)$$

Например, комбатант принадлежит своей силовой группе в контуре системы  $S_1$  и социальной общности, не принадлежащей  $S$ , физически находящейся вдали от него, но оказывающей на него психологическое давление ( $S_2$  – семья, масс-медиа и т.д.). Такое взаимодействие систем через общего агента оказывает влияние не на источники или стоки, а непосредственно на самого агента. Взаимодействие незаметно и для его имитации необходимо привлекать совершенно другие системы, которые не могут быть учтены в моделях системы  $S_1$ . Тем не менее необходимо отметить:

- информационное воздействие отражается на психике агента и проявляется через его эмоциональное состояние;
- следствием аксиомы (2) является иррациональное поведение агента.

Так как управляющее воздействие в системах рассматриваемого класса происходит через действия агентов, их эмоциональное состояние часто играет решающую роль. Эмоциональное состояние оказывает влияние на очередной выбор действия агента. В настоящее время во многих работах исследуется эмоциональный агент. Учитывая результаты [10], уточним звенья в цепочке (1) для каждого агента:

$$S(t_i)_a \cup C(t_i)_a \rightarrow E(t_i)_a \rightarrow D(t_i)_a \rightarrow S(t_{i+1})_a \cup C(t_{i+1})_a. \quad (3)$$

В (3) индекс  $a$  означает оценку и действие агента;  $E$  – эмоциональную реакцию агента с когнитивными последствиями;  $D$  – поведенческую реакцию.

Проблема заключается в формализации  $E(t_i)_a$ : разные по характеру агенты могут вести себя по-разному в одинаковых эмо-

циональных состояниях, эмоциональная реакция зависит от условий прожитой жизни, то есть задолго до  $t_i$  (например, агент прошел обучение или нет) существуют различные формальные модели, но, как правило, для простых ситуаций. Проблема формализации эмоциональных состояний наслаивается на проблему формализации нелинейной системы.

Следствием (2) является возможное взаимное влияние систем  $S_1, S_2$  через общих агентов. Влияние имеет место, когда цели систем не совпадают. В этом случае перед очередным действием агент должен выбрать систему, для него наиболее значащую. Например, система  $S_1$  требует выполнения приказа, а  $S_2$  (семья) – сохранения жизни. Рациональное поведение в одной системе является иррациональным в другой. Каким образом учитывать иррациональность агента, в каких случаях? Иррациональность агентов может быть неважна при их большом количестве (не заметна в общем объеме рациональных действия), но развитие конкурентной борьбы идет в направлении уменьшения численности групп агентов и увеличения количества их самостоятельных решений.

Наличие хаоса в нелинейных системах, проявление эмоциональных состояний и иррациональность поведения агентов затрудняют формализацию процессов в системах  $S$ . Одним из подходов к решению проблемы является частичный уход от формализации. Например, метод сценирования, Форсайт-метод, ситуационный анализ.

Технология имитационного макетирования, относящаяся к подобным методам, позволяет создавать сценарные игровые имитационные модели в процессе разработки программного обеспечения (ПО) для ПУ [11]. В имитационной модели участвуют агенты, моделирующие во внешней среде деятельность своих должностных лиц и конкурента. Кроме того, в имитации участвуют лица, принимающие решения в ПУ (лица, работающие по должностным инструкциям с создаваемым ПО ПУ). Агенты во внешней среде могут быть полностью автоматическими или функционировать под управлением человека (тестеры). ПО имитационной модели, созданной в рамках технологии имитационного макетирования, состоит из реального ПО, созданного для ПУ, и ПО имитационной модели. Они взаимодействуют между собой. Объекты и агенты имитационной модели делятся на автоматические

и управляемые тестерами. Присутствие человека в моделях облегчают моделирование эмоций и иррациональное поведение (в игровой модели они ближе к натуральным). При имитационном макетировании можно оценить возможности системы  $S$  не после окончания разработки ПУ, включая его ПО, а в процессе его создания.

Таким образом, технология имитационного макетирования способна частично преодолеть проблему формализации процессов, протекающих в  $S$ , что в свою очередь дает возможность снять противоречие в моделировании сложных систем, находящихся в конкуренции.

### *Список литературы*

1. Вдовин А. В., Костин К. К. Технология искусственного интеллекта в системах поддержки принятия решений – вероятные подходы и пути реализации // Вестник Академии военных наук. 2022. № 4 (81). С. 91–97.
2. Саяпин О. В., Тиханычев О. В., Безвесильная А. А., Чискидов С. В. Об одной тенденции развития алгоритмов, реализуемых в системах поддержки принятия решений // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36, № 3. С. 388–397. doi: 10.15827/0236-235X.142.388–397
3. Масленников О. В., Алиев Ф. К., Беспалов С. А., Митрошин Е. С. О вычислительной сложности современных военных задач // Военная мысль. 2023. № 2. С. 72–85.
4. Антипова С. А., Лабец В. В., Филяев М. П. Концептуальные основы применения технологии искусственного интеллекта в системе материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная мысль. 2023. № 7. С. 100–112.
5. Белотелов Н. В., Бродский Ю. И., Павловский Ю. Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ. М. : Либроком, 2019. 320 с.
6. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики: синергетическое мировоззрение. М. : Либроком, 2018. 254 с.
7. Фолта Я., Новы Л. История естествознания в датах. М. : Прогресс, 1987. 495 с.
8. Сивков К., Соколов К. Гибридная война. М. : Наше завтра, 2023. 280 с.
9. Бабич М. Ю., Бабич А. М. Влияние аксиом принадлежности агентов нескольким организационно-техническим системам на радио-

нальное поведение агентов // Искусственные общества. 2021. Т. 16, № 1. URL: <https://artsoc.jes.su/S207751800013885-2-1> (дата обращения: 30.03.2024).

10. Marsella S., Gratch J., Petta P. Computational models of emotion. URL: <https://ict.usc.edu/pubs/Computational%20Models%20of%20Emotion.pdf> (дата обращения: 03.05.2024).

11. Бабич М. Ю., Кузнецов В. Е., Бабич А. М. Имитация особенностей автоматизированных систем управления для силовых структур в процессе моделирования их функционирования // I-methods. 2022. Т. 14, № 4. URL: <http://intech-spb.com/wp-content/uploads/archive/2022/4/1-babich4-2022.pdf> (дата обращения: 11.04.2024).

УДК 519.862.6

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ DOS-АТАКИ ПО СЕТЕВОМУ ТРАФИКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕГРЕССИЙ**

**Михаил Павлович Базилевский<sup>1</sup>, Анна Евгеньевна Шаманова<sup>2</sup>,  
Артём Александрович Малыгин<sup>3</sup>**

*<sup>1,2,3</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

<sup>1</sup>mik2178@yandex.ru

<sup>2</sup>anutashamanova056@mail.ru

<sup>3</sup>temamal2001@mail.ru

**Аннотация.** Работа посвящена проблеме оценивания неизвестных параметров логистических регрессий. Традиционно она решается методом максимального правдоподобия. Ранее авторами был разработан другой подход к оцениванию логистических регрессий, основанный на решении задачи линейного программирования. На примере задачи распознавания DoS-атаки в сетевом трафике по выборке объемом 2000 наблюдений двумя методами построены логистические регрессии. Оказалось, что при применении нового метода количество корректно предсказанных по модели случаев на 23 больше, чем при использовании метода максимального правдоподобия.

**Ключевые слова:** логистическая регрессия, метод максимального правдоподобия, линейное программирование, информационная безопасность, DoS-атака, сетевой трафик

# SOLVING THE PROBLEM OF DOS ATTACK RECOGNITION BY NETWORK TRAFFIC USING A NEW METHOD OF ESTIMATING LOGISTIC REGRESSIONS

Michael P. Bazilevskiy<sup>1</sup>, Anna E. Shamanova<sup>2</sup>, Artem A. Malygin<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

<sup>1</sup>mik2178@yandex.ru

<sup>2</sup>anutashamanova056@mail.ru

<sup>3</sup>temamal2001@mail.ru

**Abstract.** This article is devoted to the problem of estimating unknown parameters of logistic regressions. Traditionally, it is solved by the maximum likelihood estimation. Previously, the authors developed another approach to estimating logistic regressions based on solving a linear programming problem. Using the example of the problem of recognizing a DoS attack in network traffic based on a sample of 2000 observations, logistic regressions were constructed using two methods. It turned out that the new method yielded 23 more cases correctly predicted by the model than when using the maximum likelihood estimation.

**Keywords:** logistic regression, maximum likelihood estimation, linear programming, information security, DoS attack, network traffic

Задача классификации сетевых атак в информационной безопасности является критически важной. Её решение даёт возможность разрабатывать адекватные меры защиты и эффективно реагировать на инциденты, что способствует повышению общего уровня безопасности информационных систем.

Для решения задач классификации сетевых атак в настоящее время активно используются методы машинного обучения. Этой тематике в современной литературе посвящено довольно много научных работ. Например, в [1] проведено исследование, в котором при классификации атак использованы следующие методы: метод *k*-ближайших соседей, множественная логистическая регрессия, мультиномиальный «наивный» Байес, метод опорных векторов, дерево решений, алгоритм «случайного леса». При этом наилучшие результаты показали метод опорных векторов, алгоритм «случайного леса» и логистическая регрессия. В [2–4] для обнаружения сетевых атак использованы нейронные сети. Работа [5] посвящена анализу методов отбора информативных признаков датасета, а для классификации использован двухслойный перцептрон.

В данной работе для классификации использована логистическая регрессия [6, 7], неизвестные параметры которой традиционно оцениваются с помощью метода максимального правдоподобия [8]. Однако тенденция последних лет состоит в том, что в регрессионный анализ для решения тех или иных задач успешно внедряется аппарат математического программирования [9–11]. В этой связи в [12] предложен новый метод нахождения оценок логистической регрессии, основанный на использовании аппарата линейного программирования. Цель данной статьи заключается в сравнении этих двух методов оценивания логистической регрессии на примере решения задачи распознавания DoS-атаки по сетевому трафику.

Для построения логистических регрессий был использован датасет UNSW-NB 15 [13], по которому обучались нейронные сети в [4]. Этот набор данных содержит 49 признаков и 175341 запись для обучения. В этом датасете трафик помечен либо как безопасный, либо характеризующийся одной из следующих девяти атак: Fuzzers, Analysis, Backdoors, DoS, Exploits, Generic, Reconnaissance, Shellcode и Worms. Сначала из набора UNSW-NB 15 была сформирована выборка, содержащая записи только с безопасным трафиком и с DoS-атаками. Её объем составил 68264. Затем из неё были выбраны первые 1000 записей, относящиеся к безопасному трафику, и последние 1000 записей, относящиеся к трафику с DoS-атакой. Таким образом, итоговый объем выборки для построения логистической регрессии составил 2000.

В качестве переменных были использованы следующие показатели:

*label* – бинарная переменная, которая равна 0 для нормального трафика, и 1 для DoS-атаки;

*dur* – продолжительность сессии, с.;

*spkts* – количество пакетов (источник => назначение);

*dpkts* – количество пакетов (назначение => источник);

*sbytes* – количество исходящих байт (источник => назначение);

*dbytes* – количество входящих байт (назначение => источник);

*sttl* – время жизни (источник => назначение);

*dttl* – время жизни (назначение => источник);

*sloss* – число повторно переданных или отброшенных пакетов (источник => назначение);

$dloss$  – число повторно переданных или отброшенных пакетов (значение => источник).

Для удобства обозначим выходную переменную  $label$  как  $y$ , входную  $dur$  –  $x_1$ ,  $pkts$  –  $x_2$ ,  $dpkts$  –  $x_3$ ,  $sbytes$  –  $x_4$ ,  $dbytes$  –  $x_5$ ,  $sttl$  –  $x_6$ ,  $dttl$  –  $x_7$ ,  $sloss$  –  $x_8$ ,  $dloss$  –  $x_9$ .

С использованием пакета Gretl методом максимального правдоподобия была оценена следующая логистическая регрессия:

$$\tilde{y} = \frac{1}{1 + e^{-z_1}}, \quad (1)$$

где

$$z_1 = -2,109 - 0,000131x_1 + 0,0725x_2 - 0,314x_3 - \\ -2,415 \cdot 10^{-5} x_4 + 0,000251x_5 + 0,0144x_6 + \\ + 0,01104x_7 + 0,1997x_8 - 0,0227x_9.$$

Количество корректно предсказанных случаев для модели (1) составляет 1819 из 2000, т.е. 90,95 %, а количество ошибочно предсказанных случаев – 181.

Подробное описание нашего метода оценивания можно найти в работе [12]. Заметим, что фигурирующий в задаче линейного программирования параметр  $r$  был взят 0,01, а число  $\Delta$  для калибровки масштаба вероятностей взято 0,999. Специально для сформированной выборки из 2000 наблюдений была разработана программа для решателя LPSolve. С помощью неё нашим методом была оценена следующая логистическая регрессия:

$$\tilde{y} = \frac{1}{1 + e^{-z_2}}, \quad (2)$$

где

$$z_2 = -3,532 + 0,000409x_1 + 0,00198x_2 - 0,01085x_3 + \\ + 1,3553 \cdot 10^{-6} x_5 + 0,02303x_6 + 0,01769x_7 - 0,000689x_8 + 0,01789x_9.$$

Как видно, коэффициенты регрессии (2) отличаются от коэффициентов модели (1). Причем, в (2) коэффициент при переменной  $x_4$  равен 0, т.е. эта модель компактнее, чем регрессия (1).

Количество корректно предсказанных случаев для модели (2) составляет 1842 из 2000, т.е. 92,1%, что на 23 случая больше, чем для логистической регрессии (1). Неверное предсказание было получено лишь в 158-ми случаях.

Подведём итоги.

1. При решении задачи распознавания DoS-атаки по сетевому трафику новый метод оценивания логистической регрессии превзошел метод максимального правдоподобия.

2. К сожалению, для проведения широкомасштабных вычислительных экспериментов пока отсутствует реализующая новый метод компьютерная программа.

3. Новый метод оценивания логистических регрессий может быть применен не только для распознавания DoS-атак, но и других угроз безопасности информационных систем.

### *Список литературы*

1. Кажемский М. А., Шелухин О. И. Многоклассовая классификация сетевых атак на информационные ресурсы методами машинного обучения // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5, № 1. С. 107–115.

2. Тимочкина Т. В., Татарникова Т. М., Пойманова Е. Д. Применение нейронных сетей для обнаружения сетевых атак // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 5. С. 357–363.

3. Зацепин Д. К., Ионова И. В. Использование глубокого обучения для классификации сетевых атак // Инновационная наука. 2023. С. 6–10.

4. Семькина Н. А., Садовникова Н. М. Особенности применения методов искусственного интеллекта при решении задачи мониторинга сетевого трафика с целью обнаружения атак // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8367>

5. Ерохин С. Д., Борисенко Б. Б., Мартишин И. Д., Фадеев А. С. Отбор информативных признаков датасета для выявления и классификации сетевых атак // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2022. № 6. С. 4–16.

6. Зенкевич И. Г., Замбрано Д. М. Логистическая регрессия для аппроксимации результатов газохроматографического анализа термически нестабильных соединений // Аналитика и контроль. 2024. Т. 28, № 1. С. 27–37.

7. Бурова И. В. Построение математической модели вероятности банкротства кредитных организаций на основе бинарной логистической регрессии // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 3 (125). С. 123–129.

8. Маслак А. А., Моисеев С. И., Осипов С. А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 58–66.

9. Базилевский М. П. Двухкритериальное оценивание линейных регрессионных моделей методами наименьших модулей и квадратов // International Journal of Open Information Technologies. 2024. Т. 12, № 6. С. 76–81.

10. Базилевский М. П. Отбор оптимального числа информативных регрессоров по скорректированному коэффициенту детерминации в регрессионных моделях как задача частично целочисленного линейного программирования // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. № 2. С. 41–54.

11. Носков С. И., Базилевский М. П. Построение регрессионных моделей с использованием аппарата линейно-булевого программирования. Иркутск : ИрГУПС, 2018. 176 с.

12. Базилевский М. П., Малыгин А. А., Шаманова А. Е. Метод оценивания логистических регрессий с помощью аппарата линейного программирования // Вестник кибернетики. 2024. Т. 23, № 2. С. 14–22.

13. The UNSW-NB15 Dataset // UNSW Research. URL: [research.unsw.edu.au/projects/unsw-nb15-dataset](https://research.unsw.edu.au/projects/unsw-nb15-dataset)

УДК 004.681.3

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТОЯНИЙ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ: МИНИМИЗАЦИЯ И ЕЕ МЕТОДЫ**

**Иван Алексеевич Зеляпугин<sup>1</sup>, Максим Андреевич Сафронов<sup>2</sup>,  
Ольга Станиславовна Дорофеева<sup>3</sup>**

*<sup>1,2,3</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>[zelyapugini@inbox.ru](mailto:zelyapugini@inbox.ru)

<sup>2</sup>[maxim2004karin@mail.ru](mailto:maxim2004karin@mail.ru)

<sup>3</sup>[dos@pnzgu.ru](mailto:dos@pnzgu.ru)

**Аннотация.** Конечные автоматы являются фундаментальными структурами в информатике и применяются в широком спектре задач: от компиляторов и синтаксического анализа до сетевых протоколов и встроенных систем. Когда конечные автоматы используются на практике, их размер (количество состояний) может напрямую влиять на эффективность системы. Одной из главных задач при проектировании и применении автоматов является минимизация состояний, которая позволяет уменьшить число состояний, сохранив ту же функциональность. Подробно рассматриваются методы минимизации состояний, особенности каждого метода и их преимущества.

**Ключевые слова:** конечные автоматы, минимизация состояний, алгоритм

# OPTIMIZATION OF FINITE STATE MACHINES: MINIMIZATION AND ITS METHODS

Ivan A. Zeljapugin<sup>1</sup>, Maxim A. Safronov<sup>2</sup>, Olga S. Dorofeeva<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>zelyapugini@inbox.ru

<sup>2</sup>maxim2004karin@mail.ru

<sup>3</sup>dos@pnzgu.ru

**Abstract.** Finite state machines (FSM) are fundamental structures in computer science and are used in a wide range of tasks: from compilers and syntactic analysis to network protocols and embedded systems. When FSM are used in practice, their size (number of states) can directly affect the efficiency of the system. One of the main tasks in the design and use of machines is state minimization, which allows you to reduce the number of states while maintaining the same functionality. In this article, we will consider in detail the methods of state minimization, the features of each method and their advantages.

**Keywords:** finite state machines, state minimization, algorithm

Минимизация состояний конечных автоматов [1] решает сразу несколько задач:

1. Снижение объема памяти: при меньшем числе состояний автомат занимает меньше памяти, что особенно важно для встро-  
енных систем с ограниченными ресурсами.

2. Увеличение производительности: меньшее количество со-  
стояний позволяет автомату быстрее обрабатывать входные дан-  
ные, так как уменьшается количество проверок и переходов.

3. Упрощение анализа и поддержки: минимизированный ав-  
томат легче анализировать, модифицировать и отлаживать.

4. Оптимизация логики: минимизация часто приводит к бо-  
лее оптимальной логической структуре, что облегчает генерацию  
кода и его последующую оптимизацию.

Существует несколько методов минимизации состояний, и  
каждый из них применим в различных ситуациях в зависимости от  
типа автомата и его структуры.

Метод подмножества [2] используется в первую очередь для  
минимизации недетерминированных конечных автоматов (НКА)  
путем их преобразования в детерминированные конечные авто-  
маты (ДКА). Алгоритм состоит из двух частей:

1. Преобразование НКА в эквивалентный ДКА с помощью построения подмножеств состояний.

2. Минимизация ДКА с помощью алгоритмов эквивалентности состояний.

Основная идея состоит в том, чтобы для каждого множества состояний НКА строить новое состояние ДКА, которое представляет собой объединение нескольких состояний НКА. После этого, уже полученный ДКА можно минимизировать с помощью других методов.

Этот метод является довольно общим и универсальным для работы с недетерминированными автоматами.

Алгоритм эквивалентности состояний [3] – это один из классических и широко применяемых методов минимизации детерминированных конечных автоматов (ДКА). Два состояния  $s_i$  и  $s_j$  автомата  $A$  называются эквивалентными, если независимо от того, какое из состояний  $s_i$  или  $s_j$  принять за начальное, любое входное слово  $\tilde{p}$  преобразуется автоматом  $A$  в одинаковое выходное слово  $\tilde{w}$ . Это определение задает отношение эквивалентности на множестве состояний  $S$  автомата, поскольку для каждой пары состояний  $s_i$  и  $s_j$  можно установить эквивалентные они или нет. Алгоритм основан на принципе нахождения и слияния эквивалентных состояний – состояний, которые приводят к одинаковому поведению автомата для всех возможных входных символов.

1. Инициализация разделения. Все состояния автомата делятся на два класса: принимающие состояния и непринимаящие состояния.

2. Уточнение классов. Для каждого класса проводится проверка: одинаково ли состояния реагируют на входные символы. Если два состояния при одном и том же входном символе переходят в разные классы, они неэквивалентны и должны быть разделены на два разных класса.

3. Объединение состояний. Как только дальнейшее разделение невозможно, состояния внутри одного класса считаются эквивалентными и могут быть объединены в одно состояние.

Этот метод прост в реализации и работает эффективно для небольших автоматов. Однако для больших автоматов его можно ускорить с помощью специальных структур данных.

Алгоритм Хопкрофта [4] является усовершенствованной версией метода эквивалентности состояний. Он считается наибо-

лее эффективным алгоритмом для минимизации детерминированных конечных автоматов, поскольку его сложность составляет  $O(n \cdot \log(n))O(n \cdot \log(n))O(n \cdot \log(n))$ , где  $n$  – количество состояний.

Основная идея алгоритма Хопкрофта:

1. Сначала разделяем состояния на два класса: принимающие и непринимаящие.

2. Затем происходит последовательное деление этих классов на подмножества, основываясь на переходах состояний по входным символам.

3. При каждом шаге алгоритм проверяет, можно ли разделить каждую группу состояний на подгруппы. Если это возможно, то происходит деление. Если нет, то класс состояний остается без изменений.

4. Процесс продолжается, пока все классы не будут максимально разделены.

Этот алгоритм работает быстрее, чем классический метод эквивалентности состояний, особенно на больших входных данных.

Алгоритм Бойера-Мура [5] является уникальным методом минимизации, основанным на операциях инверсии и детерминизации. Его можно применять как к недетерминированным, так и к детерминированным конечным автоматам.

Шаги алгоритма Бойера-Мура:

1. Инверсия автомата. Входной автомат инвертируется, то есть принимающие состояния становятся непринимаящими, и наоборот.

2. Построение ДКА. Преобразуем инверсированный автомат в детерминированный конечный автомат (если исходный автомат был недетерминированным).

3. Повторная инверсия. Инверсируем автомат еще раз.

4. Построение минимального автомата. Преобразуем обратно к исходному виду, но уже минимизированный автомат.

Этот метод имеет более высокую временную сложность по сравнению с другими методами, однако он обладает рядом преимуществ для небольших автоматов или при специфических требованиях к инверсии автомата.

Пример минимизации детерминированного конечного автомата.

Рассмотрим следующий детерминированный конечный автомат:

- Состояния:  $q_0q_0q_0$ ,  $q_1q_1q_1$ ,  $q_2q_2q_2$ ,  $q_3q_3q_3$ .
- Принимающие состояния:  $q_2q_2q_2$ ,  $q_3q_3q_3$ .
- Непринимающие состояния:  $q_0q_0q_0$ ,  $q_1q_1q_1$ .
- Переходы:
  - Из  $q_0q_0q_0$  по символу  $aaa$  переходим в  $q_1q_1q_1$ , по  $bbb$  остаемся в  $q_0q_0q_0$ .
  - Из  $q_1q_1q_1$  по  $aaa$  переходим в  $q_2q_2q_2$ , по  $bbb$  возвращаемся в  $q_0q_0q_0$ .
  - Из  $q_2q_2q_2$  по  $aaa$  переходим в  $q_3q_3q_3$ , по  $bbb$  остаемся в  $q_2q_2q_2$ .
  - Из  $q_3q_3q_3$  по  $aaa$  переходим в  $q_2q_2q_2$ , по  $bbb$  остаемся в  $q_3q_3q_3$ .

Шаги минимизации с использованием метода эквивалентности состояний:

1. Инициализируем разделение:
  - Принимающие состояния:  $\{q_2, q_3\} \setminus \{q_2, q_3\}$ .
  - Непринимающие состояния:  $\{q_0, q_1\} \setminus \{q_0, q_1\}$ .
2. Проверяем эквивалентность состояний в каждом классе:
  - Состояния  $q_2q_2q_2$  и  $q_3q_3q_3$  ведут себя одинаково для всех входных символов. Они эквивалентны и могут быть объединены.
  - Состояния  $q_0q_0q_0$  и  $q_1q_1q_1$  неэквивалентны, так как для одного символа они ведут в разные классы.
3. Минимальный автомат содержит три состояния:  $q_0q_0q_0$ ,  $q_1q_1q_1$  и объединенное состояние  $q_2=q_3q_2 = q_3q_2=q_3$ .

Минимизация конечных автоматов – это важный шаг на пути к оптимизации логики и структуры систем, использующих автоматы. Она позволяет снизить количество состояний, что приводит к более эффективной реализации автомата как с точки зрения памяти, так и производительности. Выбор метода минимизации зависит от типа конечного автомата и требований к оптимизации. В своей курсовой работе мы использовали алгоритм эквивалентности состояний, что позволило увеличить работоспособность и скорость выполнения программы.

Алгоритмы эквивалентности состояний Хопкрофта и Бойера – Мура обеспечивают разные подходы к минимизации, каждый из которых имеет свои преимущества и может быть выбран в зависимости от конкретных условий задачи.

## *Список литературы*

1. Конечный автомат. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Конечный\\_автомат](https://ru.wikipedia.org/wiki/Конечный_автомат) (дата обращения: 16.09.2024).
2. Минимизация методом подмножества (Subset Construction). URL: <https://fastercapital.com/ru/content/Построение-сложности--искусство-построения-подмножеств-в-обновлении-NFA.html> (дата обращения: 16.09.2024).
3. Алгоритм эквивалентности состояний (Partition Refinement). URL: [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Эквивалентность\\_состояний\\_ДКА](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Эквивалентность_состояний_ДКА) (дата обращения: 16.09.2024).
4. Hopcroft J. An  $n \log n$  algorithm for minimizing states in a finite automaton // Proceedings of International Symposium on the Theory of Machines and Computations. New York, 1971. URL: <http://i.stanford.edu/pub/cstr/reports/cs/tr/71/190/CS-TR-71-190.pdf> (дата обращения: 14.09.2024).
5. Алгоритм Бойера – Мура. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_Бойера\\_-\\_Мура](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_Бойера_-_Мура) (дата обращения: 16.09.2024).

УДК 004.9: 519.2

## **ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ДРОЖАНИЯ ФАЗЫ СИГНАЛА**

**Андрей Анатольевич Тарасов**

*АО «Концерн радиостроения “Вега”», г. Москва, Россия*

*tarasov-and-79@mail.ru*

**Аннотация.** Цель работы – развитие новых методов расчета характеристик систем передачи и обработки данных. Объект исследования – аналитический метод оценки вероятностных характеристик джиттера сигнала. Предмет – математические формулы для расчета плотности и вероятности характеристик дискретного сигнала в зависимости от детерминированного и случайного законов отклонения фронтов сигнала. При выводе формул расчета вероятностных характеристик применена теория вероятности. Корректность формул вероятности и плотности вероятности формирования сигнала проиллюстрирована примерами. Представленные аналитические зависимости полного джиттера позволяют расширить область расчетов параметров линии передачи сигнала при моделировании и минимизации влияния джиттера на реальные информационно-телекоммуникационные системы.

**Ключевые слова:** вероятность, плотность вероятности, фронт сигнала, дрожание фронта сигнала

# PROBABILISTIC MODEL OF SIGNAL PHASE JITTER

Andrey A. Tarasov

*JSC Radio Engineering Concern "Vega", Moscow, Russia*

tarasov-and-79@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the work is the development of new methods for calculating the characteristics of transmission and data processing systems. The object of research is an analytical method of estimation of probabilistic characteristics of signal jitter. Subject – mathematical formulas for calculating the density and probability characteristics of a discrete signal depending on the deterministic and random laws of deviation of signal edges. At the conclusion of formulas for calculation of probability characteristics the theory of probability is applied. Correctness of the formulas of probability and probability density formulas of signal formation is illustrated by examples. The presented analytical dependences of the total jitter allow to expand the area of calculations of parameters of the signal transmission line in modeling and minimizing the influence of jitter on real information and telecommunication systems.

**Keywords:** probability, probability density, signal front, signal front jitter

## Введение

При повышении требований к надежности и пропускной способности систем передачи данных необходимо учитывать влияние негативных случайных факторов на обмен сигналами при проектировании. Одним из основных источников ошибок при передаче сигнала в информационно-телекоммуникационных системах является джиттер – случайные отклонения фронта дискретного сигнала от идеального положения. Недостаточно точный расчет параметров джиттера может привести к его накоплению при прохождении сигнала по тракту что в конечном итоге может привести к неработоспособности устройства. Уменьшение влияния джиттера является одной из основных задач при проектировании аппаратуры передачи данных, измерительных приборов, микроэлектроники и других современных областей техники [1].

Знание механизмов негативного влияния дрожания фазы сигнала необходимо при проектировании и эксплуатации информационно-телекоммуникационных систем. Сравнение расчетных и экспериментальных данных в процессе испытаний и эксплуатации систем позволяет выявить источники джиттера.

Полный джиттер (Total Jitter – TJ) состоит из детерминированного (Deterministic Jitter – DJ) и случайного (Random Jitter – RJ). Детерминированный джиттер имеет ограниченную амплитуду

и подразделяется на зависящий от данных джиттер (коррелированный) и независимый (не коррелированный), который исследуется в данной работе [2].

Источниками случайных искажений фазы сигнала могут быть шум источника питания, перекрестные помехи и средства восстановления сигнала. Источники RJ независимы и имеют гауссовскую природу [3].

Поскольку DJ и RJ считаются независимыми случайными величинами, их суммарное влияние на TJ рассчитывается с помощью интеграла свёртки. Общепринята статистическая модель джиттера на основе двойной функции Дирака. Кроме того, практический интерес представляет оценка отклонения фазы при равномерном характере распределения DJ, как наиболее тяжелый случай его влияния на значения TJ [4].

### Модель формирования импульса

Математические формулировки приведены для импульса отрицательной полярности. Для положительной формы измененные формулы приведены без дополнительных пояснений. Исследование проведено для импульса с безразмерной амплитудой равной 1. Безразмерная длительность установлена равной длительности битового интервала. Идеальная длительность битового интервала определяется по уровню 0.5. Джиттер измеряется при номинальном уровне порога формирования цифрового сигнала [2].

Модельная форма сигнала приведена на рис. 1. Длительность битового интервала определяется по формуле:

$$T_p = t_{20} - t_{10};$$

где  $t_{20}$ ,  $t_{10}$  – интервалы времени от начала отсчета джиттера до точек пересечения сигнала с пороговым уровнем 0,5.

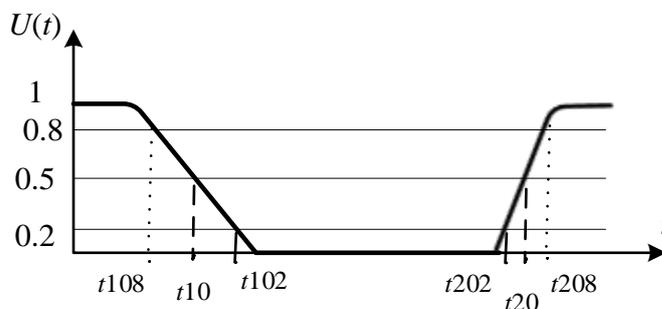


Рис. 1. Модельная форма сигнала

Длительности фронтов сигнала обычно измеряются по точкам пересечения сигнала с уровнями 0,2 и 0,8. Для модели сигнала, представленной на рис, 1, длительность переднего фронта (спада) определяется формулой

$$tf1 = t102 - t108;$$

где  $t108$ ,  $t102$  – интервалы времени от начала отсчета джиттера до точек пересечения сигнала с пороговыми уровнями 0,8 и 0,2 соответственно.

Аналогично, для заднего фронта (фронта):

$$tf2 = t208 - t202.$$

### **Вероятностные модели детерминированного джиттера фронтов сигнала**

Функции плотности вероятностей детерминированного джиттера DJ переднего и заднего фронтов при задании двумя функциями Дирака определяются следующим образом:

$$fD1(t) = \frac{1}{2} \left[ \delta \left( t10 - \frac{w1}{2} \right) + \delta \left( t10 + \frac{w1}{2} \right) \right],$$

$$fD2(t) = \frac{1}{2} \left[ \delta \left( t20 - \frac{w2}{2} \right) + \delta \left( t20 + \frac{w2}{2} \right) \right].$$

где  $\delta(t)$  – функция Дирака,  $w1$ ,  $w2$  – продолжительности интервалов изменения DJ переднего и заднего фронтов соответственно.

Функции плотности вероятностей детерминированного джиттера DJ переднего и заднего фронтов при задании равномерным законом распределения определяются следующим образом:

$$fU1(t) = \frac{1}{w1} \begin{cases} 1, t10 - \frac{w1}{2} < t < t10 + \frac{w1}{2} , \\ 0, иначе \end{cases}$$

$$fU2(t) = \frac{1}{w2} \begin{cases} 1, t20 - \frac{w2}{2} < t < t20 + \frac{w2}{2} . \\ 0, иначе \end{cases}$$

Функции плотности вероятностей случайного джиттер RJ переднего и заднего фронтов при задании нормальным законом распределения определяются следующим образом

$$fG1(t) = \frac{1}{\sigma1\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(t-t01)^2}{2\sigma1^2}\right],$$

$$fG2(t) = \frac{1}{\sigma2\sqrt{\pi}} \exp\left[-\frac{(t-t02)^2}{2\sigma2^2}\right].$$

где  $\sigma1, \sigma2$  – дисперсии случайного джиттера RJ переднего и заднего фронтов соответственно,

Функции плотности вероятности формирования полного джиттера TJ переднего и заднего фронтов при задании DJ двумя функциями Дирака и RJ нормальным распределением определяются следующим образом:

$$TD1(t) = \frac{1}{\sigma1\sqrt{2\pi}} \left\{ \exp\left[-\frac{\left(t-t1+\frac{w1}{2}\right)^2}{2\sigma1^2}\right] + \exp\left[-\frac{\left(t-t1-\frac{w1}{2}\right)^2}{2\sigma1^2}\right] \right\},$$

$$TD2(t) = \frac{1}{\sigma2\sqrt{2\pi}} \left\{ \exp\left[-\frac{\left(t-t2+\frac{w2}{2}\right)^2}{2\sigma2^2}\right] + \exp\left[-\frac{\left(t-t2-\frac{w2}{2}\right)^2}{2\sigma2^2}\right] \right\}.$$

Функции плотности вероятности формирования полного джиттера TJ переднего и заднего фронтов при задании DJ равномерным распределением и RJ нормальным распределением определяются следующим образом:

$$TU1(t) = \frac{1}{4w1} \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{(2t-2t1+w1)}{2\sqrt{2}\sigma1}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{(2t-2t1-w1)}{2\sqrt{2}\sigma1}\right] \right\},$$

$$TU2(t) = \frac{1}{4w2} \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{(2t-2t2+w2)}{2\sqrt{2}\sigma2}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{(2t-2t2-w2)}{2\sqrt{2}\sigma2}\right] \right\}.$$

Функции вероятности формирования полного джиттера TJ получены интегрированием полученных соответствующих функций плотности. Функции вероятности формирования полного джиттера TJ переднего и заднего фронтов при задании DJ двумя функциями Дирака и RJ нормальным распределением определяются следующим образом:

$$PD1(t) = \frac{1}{4} \left\{ 2 + \operatorname{erf} \left[ \frac{(2t - 2t1 + w1)}{2\sqrt{2}\sigma1} \right] + \operatorname{erf} \left[ \frac{(2t - 2t1 - w1)}{2\sqrt{2}\sigma1} \right] \right\},$$

$$PD2(t) = \frac{1}{4} \left\{ 2 + \operatorname{erf} \left[ \frac{(2t - 2t2 + w2)}{2\sqrt{2}\sigma2} \right] + \operatorname{erf} \left[ \frac{(2t - 2t2 - w2)}{2\sqrt{2}\sigma2} \right] \right\}.$$

Функции вероятности формирования полного джиттера TJ переднего и заднего фронтов при задании DJ равномерным распределением и RJ нормальным распределением определяются следующим образом:

$$PU1(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}w1} \left\langle \sqrt{2\pi} \left( t - t1 + \frac{w1}{2} \right) \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \frac{\sqrt{2}(2t - 2t1 + w1)}{4\sigma1} \right] \right\} + \right.$$

$$+ 2\sigma1 \exp \left[ -\frac{(2t - 2t1 + w1)^2}{8\sigma1^2} \right] - \sqrt{2\pi} \left( t - t1 - \frac{w1}{2} \right) \times$$

$$\left. \times \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \frac{\sqrt{2}(2t - 2t1 - w1)}{4\sigma1} \right] \right\} - 2\sigma1 \exp \left[ -\frac{(2t - 2t1 - w1)^2}{8\sigma1^2} \right] \right\rangle,$$

$$PU2(t) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}w2} \left\langle \sqrt{2\pi} \left( t - t2 + \frac{w2}{2} \right) \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \frac{\sqrt{2}(2t - 2t2 + w2)}{4\sigma2} \right] \right\} + \right.$$

$$+ 2\sigma2 \exp \left[ -\frac{(2t - 2t2 + w2)^2}{8\sigma2^2} \right] - \sqrt{2\pi} \left( t - t2 - \frac{w2}{2} \right) \times$$

$$\left. \times \left\{ 1 + \operatorname{erf} \left[ \frac{\sqrt{2}(2t - 2t2 - w2)}{4\sigma2} \right] \right\} - 2\sigma2 \exp \left[ -\frac{(2t - 2t2 - w2)^2}{8\sigma2^2} \right] \right\rangle.$$

## Вероятностная модель формирования импульса

Вероятность формирования импульса определяется вероятностями формирования переднего и заднего фронтов. Вероятность равна нулю, если не сформирован передний фронт, а также, если сформированы оба фронта. Вероятность будет ненулевая, если сформирован передний фронт и не сформирован задний. Исходя из допущения о независимости случайных величин формирования переднего и заднего фронтов, а также детерминированной DJ и случайной RJ составляющих, функции вероятности формирования импульса при задании DJ двумя функциями Дирака и RJ нормальным распределением определяются следующим образом:

$$PD(t) = PD1(t)[1 - PD2(t)].$$

Ввиду громоздкости формулы не приводятся.

Функции вероятности формирования импульса при задании DJ равномерным распределением и RJ нормальным распределением при тех же допущениях определяются аналогично:

$$PU(t) = PU1(t)[1 - PU2(t)].$$

Графики функций плотности вероятности формирования импульса  $PD1(t)$ ,  $PD2(t)$  и  $PU1(t)$ ,  $PU2(t)$  при следующих параметрах DJ и RJ:  $t01 = 0.1$ ,  $t02 = 1.1$ ,  $w1 = 0.2$ ,  $w2 = 0.1$ ,  $\sigma1 = \sigma2 = 0.05$ , – приведены на рис. 2

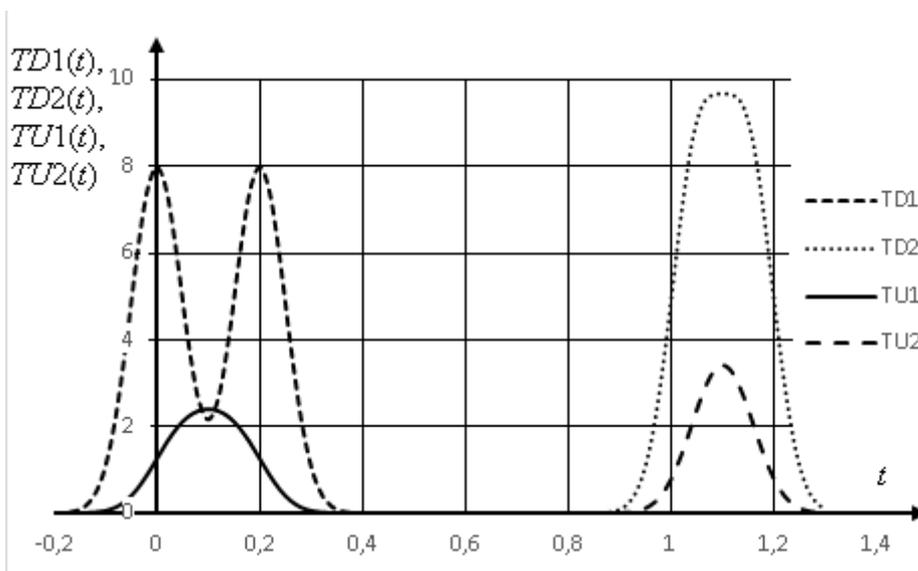


Рис. 2. Графики функций плотности вероятности формирования полного джиттера TJ переднего и заднего фронтов при задании DJ двумя функциями Дирака ( $TD1(t)$ ,  $TD2(t)$ ) и равномерным законом ( $TU1(t)$ ,  $TU2(t)$ ), а RJ – нормальным распределением

Графики функций вероятности формирования импульса  $PD(t)$  и  $PU(t)$  при следующих параметрах DJ и RJ:  $t01 = 0.1$ ,  $t02 = 1.1$ ,  $w1 = 0.2$ ,  $w2 = 0.1$ ,  $\sigma1 = \sigma2 = 0.05$ , – приведены на рис. 3.

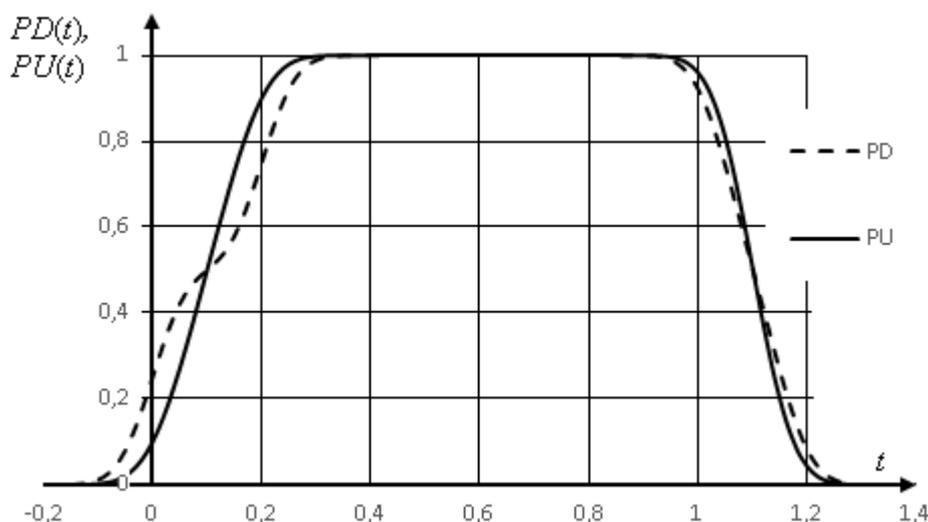


Рис. 3. Графики функций вероятности формирования импульса  $PD(t)$  и  $PU(t)$  при задании DJ двумя функциями Дирака (PD) и равномерным законом (PU), а RJ – нормальным законом.

### Заключение

Полученные аналитические зависимости дополняют ранее известные описания формирования фронтов двумя функциями Дирака. Новым являются формулы, описывающие формирование фронтов равномерным законом. Эти результаты расширяют понимание процесса формирования сигнала и предоставляют новые инструменты для анализа.

Аналитическое определение дрожания фазы сигнала обеспечивает дальнейшие расчеты статистических параметров процессов передачи и обработки сигналов. Это позволяет более эффективно моделировать и оптимизировать информационные системы.

Приведенная аналитическая оценка полного джиттера позволяет расширить область расчетов параметров линии передачи сигнала при моделировании и минимизации влияния джиттера на реальные информационно-телекоммуникационные системы. Такие результаты имеют важное значение для повышения надежности и качества передачи сигнала в современных телекоммуникационных сетях.

## *Список литературы*

1. Канаев Р. Ш. Исследование метода определения параметров джиттера, измеренного автоматизированным тестовым оборудованием // Микроэлектроника и информатика – 2017 : сб. ст. по материалам науч.-техн. конф. М., 2017. С. 60–65.
2. INCITS Technical Report for Information Technology – Fibre Channel – Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification (FC-MJSQ). URL: [https://webstore.ansi.org/preview-pages/INCITS/preview\\_INCITS+TR-35-2004+\(R2019\).pdf](https://webstore.ansi.org/preview-pages/INCITS/preview_INCITS+TR-35-2004+(R2019).pdf)
3. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. М. : Советское радио, 1966. 219 с.
4. Денисов А. А., Баев А. Б., Коновалюк М. А., Кузнецов Ю. В. Алгоритм обработки статистических характеристик джиттера сигналов цифровых интерфейсов // Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2019 : доклады 21-й Междунар. конф. (г. Москва, 27–29 марта 2019 г.). Т. XXI. Кн. 2. М. : Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова, 2019. С. 284–288.

УДК 004.9

## **МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ТЕ-ВОЛНЫ НА СЛОЕ, ПОКРЫТОМ ГРАФЕНОМ**

**Станислав Вячеславович Тихов**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

Tik.stanislav2015@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматривается задача дифракции ТЕ-волны на двумерном слое, покрытом графеном, с учетом оптической нелинейности графена. При представлении решения с помощью функций Грина указанная задача сводится к граничному интегральному уравнению. Для нахождения приближенного решения граничного интегрального уравнения с учетом нелинейности графена используется гибридный подход, основанный на комбинировании метода коллокаций и итерационной схемы.

**Ключевые слова:** электромагнитные волны, графен, нелинейность, интегральные уравнения

# INTEGRAL EQUATIONS METHOD TO SOLVE A SCATTERING PROBLEM OF A TE-WAVE ON A SLAB COVERED WITH GRAPHENE

Stanislav V. Tikhov

*Penza State University, Penza, Russia*

Tik.stanislav2015@yandex.ru

**Abstract.** A scattering problem of TE-wave on a 2D slab covered with graphene, accounting for the nonlinearity of graphene, is considered. Such problem is reduced to a single boundary integral equation via Green-function formalism. To find an approximate solution of the boundary integral equation, accounting for the nonlinearity of graphene, a hybrid approach based on the collocation method combined with an iterative scheme is suggested.

**Keywords:** electromagnetic waves, graphene, nonlinearity, integral equations

Определим множества:

$$\begin{aligned}\Omega_1 &:= \{(x, z) : x > h, z \in \mathbb{R}\}, & \Omega_2 &:= \{(x, z) : 0 < x < h, z \in \mathbb{R}\}, \\ \Gamma_0 &:= \{(x, z) : x = 0, z \in \mathbb{R}\}, & \Gamma_h &:= \{(x, z) : x = h, z \in \mathbb{R}\},\end{aligned}$$

Рассмотрим двумерный бесконечный слой  $\Omega_2$  толщины  $h$ , покрытый графеном на границе  $\Gamma_h$  и имеющий идеально проводящую стенку на границе  $\Gamma_0$ . Области  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  заполнены изотропными однородными немагнитными средами, которые характеризуются постоянными вещественными диэлектрическими проницаемостями.

На границу  $\Gamma_h$  из полуплоскости  $\Omega_1$  падает монохроматическая ТЕ-поляризованная волна  $\mathbf{E}^{\text{inc}} \exp(-i\omega t)$ ,  $\mathbf{H}^{\text{inc}} \exp(-i\omega t)$ . Пусть  $(\mathbf{E}^{\text{ref}}, \mathbf{H}^{\text{ref}}) \exp(-i\omega t)$  и  $(\mathbf{E}^{\text{trn}}, \mathbf{H}^{\text{trn}}) \exp(-i\omega t)$  обозначают отраженное и прошедшее поля, соответственно, а  $(\mathbf{E}^{\text{tot}}, \mathbf{H}^{\text{tot}}) \exp(-i\omega t)$  – полное поле.

Комплексные амплитуды  $\mathbf{E}^{\text{tot}}$ ,  $\mathbf{H}^{\text{tot}}$  удовлетворяют уравнениям Максвелла. Касательная компонента вектора  $\mathbf{E}^{\text{tot}}$  обращается в нуль на границе  $\Gamma_0$ . Наличие графенового покрытия на границе  $\Gamma_h$  обуславливает следующее условие сопряжения:

$$[\mathbf{n}, \mathbf{H}^{\text{tot}}] \Big|_{x=h+0} - [\mathbf{n}, \mathbf{H}^{\text{tot}}] \Big|_{x=h-0} = \sigma_g \mathbf{E}_\tau^{\text{tot}} \Big|_{x=h-0},$$

где  $\mathbf{n} = (1, 0, 0)$  – единичный вектор нормали, направленный вдоль оси  $Ox$ ,  $[\cdot, \cdot]$  – векторное произведение и  $\sigma_g$  – проводимость графена. Предполагаем, что источник поля находится в конечной области, поэтому как отраженное  $\mathbf{E}^{\text{ref}}$ ,  $\mathbf{H}^{\text{ref}}$  так и падающее  $\mathbf{E}^{\text{inc}}$ ,  $\mathbf{H}^{\text{inc}}$  поля удовлетворяют условиям Зоммерфельда в полуплоскости.

Ниже индекс  $j$  принимает значения 1, 2.

Описанная задача дифракции эквивалентна краевой задаче, которая состоит в нахождении функций  $u_j(x, z) \in C^2(\Omega_1) \cap C(\bar{\Omega}_1)$ , удовлетворяющих паре уравнений Гельмгольца

$$\Delta u_j + k_j^2 u_j = 0, \quad (x, z) \in \Omega_j,$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (1)$$

условию  $u_2|_{x=0} = 0$ , условию непрерывности на границе  $\Gamma_h$ , т.е.

$$u_1|_{x=h+0} - u_2|_{x=h-0} = -u_{\text{inc}}|_{x=h+0},$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (2)$$

условию сопряжения вида

$$\frac{\partial u_1}{\partial x} \Big|_{x=h+0} - \frac{\partial u_2}{\partial x} \Big|_{x=h-0} - \gamma \sigma_g u_2 \Big|_{x=h-0} = -\frac{\partial u_{\text{inc}}}{\partial x} \Big|_{x=h+0},$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (3)$$

где  $\gamma = (ic\varepsilon_0)^{-1}$ , и условию излучения на бесконечности

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} u_1 = \text{const}, \quad \lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial u_1}{\partial r} + ik_1 u_1 \right) = 0, \quad r = \sqrt{x^2 + z^2}.$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (4)$$

В качестве  $u_{\text{inc}}$  используем фундаментальное решение уравнения Гельмгольца в области  $\Omega_1$ , имеющее вид

$$u_{\text{inc}}(x, z) = \frac{Ai}{4} H_0^{(1)} \left( k_1 \sqrt{(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2} \right),$$

где  $H_0^{(1)}$  – функция Ханкеля первого рода и  $A$ ,  $x_0$ ,  $z_0$  – вещественные параметры. Ниже будем также использовать обозначения

$$f(z) = u_{\text{inc}}(x, z)|_{x=h+0}, \quad g(z) = \left. \frac{\partial u_{\text{inc}}(x, z)}{\partial x} \right|_{x=h+0}.$$

Краевую задачу (1)-(5) можно свести к граничному интегральному уравнению вида

$$(N_2 v)(z) + (N_1 v)(z) - \gamma \sigma_g v(z) = F(z),$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (5)$$

где  $v(z)$  есть след решения  $u_2(x, z)$  на границе  $\Gamma_h$ , в правой части  $F(z) = (N_1 f)(z) - g(z)$  и

$$(N_j \varphi)(z) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(\eta) \frac{\partial G_j(x, z, \xi, \eta)}{\partial \xi} \Big|_{\xi=h} d\eta \right]_{x=h}.$$

Здесь  $G_j \equiv G_j(x, z, \xi, \eta)$  – функция Грина задачи Дирихле для двумерного уравнения Гельмгольца в области  $\Omega_j$ . Аналитические выражения для  $G_j$  приведены, например, в [1].

Оба интегральных оператора  $N_j$  являются гиперсингулярными. Для вычисления таких интегралов целесообразно представить решение  $v(z)$  в виде Чебышевского ряда и использовать явные выражения для действия гиперсингулярного интегрального оператора на многочлены Чебышева второго рода [2]. Однако, прежде необходимо перейти от интегралов по всей числовой прямой к интегралам по отрезку  $[-1; 1]$ , а также получить  $\sqrt{1-t^2}$  в качестве весовой функции.

Введем новые переменные

$$z = \ln \frac{1+\zeta}{1-\zeta}, \quad \eta = \ln \frac{1+p}{1-p}.$$

Представим решение  $v(z)$  в виде

$$v(z) = v\left(\ln \frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right) = \tilde{v}(\zeta) = \sqrt{1-\zeta^2} \cdot \sum_{n=0}^{+\infty} c_n U_n(\zeta),$$

где  $U_n$  есть многочлены Чебышева второго рода, а  $c_n$  есть некоторые (искомые) коэффициенты. Выполнив ряд преобразований, уравнение (5) примет вид

$$\sum_{n=0}^{+\infty} c_n \left( Y_n(\zeta) - \gamma \sigma_g \sin((n+1) \arccos \zeta) \right) = \tilde{F}\left(\ln \frac{1+\zeta}{1-\zeta}\right),$$

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{L} + b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right) \quad (6)$$

где

$$Y_n(\zeta) = (n+1) \sqrt{1-\zeta^2} \sin((n+1) \arccos \zeta) + \sum_{i=1}^3 K_i^{(n)}(\zeta).$$

Здесь

$$K_i^{(n)}(\zeta) = \int_0^{\pi} \tilde{K}_i(\zeta, \cos \theta) \frac{\sin(n+1)\theta}{\sin \theta} d\theta,$$

$$\tilde{K}_1(\zeta, p) = -\frac{1}{2\pi} \left( 1 - \frac{(1-p\zeta)^2}{(\zeta-p)^2} + \operatorname{arctanh}^{-2} \frac{\zeta-p}{1-p\zeta} \right),$$

а два других интегральных ядра определяются как

$$\tilde{K}_i(\zeta, p) = K_i\left(\ln \frac{1+\zeta}{1-\zeta}, \ln \frac{1+p}{1-p}\right),$$

где  $K_2(z, \eta) = S_1(z, \eta) + S_2(z, \eta)$ ,

$$S_1(z, \eta) = \frac{1}{h} \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{q_n^2 \exp(-\beta_n |z-\eta|)}{\beta_n} - \frac{q_n^2 \exp(-q_n |z-\eta|)}{q_n},$$

$$S_2(z, \eta) = \frac{\pi \exp\left(-\frac{\pi}{h} |z-\eta|\right)}{h^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{\pi}{h} |z-\eta|\right)\right)^2} - \frac{1}{\pi (z-\eta)^2},$$

$$K_3(z, \eta) = \frac{ik_1^2}{2} \left( \frac{H_1^{(1)}(k_1 |z - \eta|)}{k_1 |z - \eta|} + \frac{2i\pi^{-1}}{k_1^2 |z - \eta|^2} \right),$$

и 
$$q_n = \pi n h^{-1}, \beta_n = \sqrt{q_n^2 - k_2^2}.$$

Проводимость графена  $\sigma_g$  в уравнении (6) в общем случае имеет вид  $\sigma_g = \sigma^{(1)} + \sigma^{(3)} \tilde{v}^2(\zeta)$ , где  $\sigma^{(1)}$ ,  $\sigma^{(3)}$  есть некоторые комплексные величины [3].

Для получения приближенного решения уравнения (6) с учетом нелинейности графена предлагается следующий подход. Вначале находим приближенное решение  $\tilde{v}^0(\zeta)$  уравнения (6) с  $\sigma^{(3)} = 0$ . Затем при помощи итерационной процедуры, используя в качестве начального приближения функцию  $\tilde{v}^0(\zeta)$ , находим приближенное решение уравнения (6) с  $\sigma^{(3)} \neq 0$ .

На рис. 1. представлено приближенное решение уравнения (6). В вычислениях использовались параметры  $k_1^2 = \varepsilon_1 = 1$ ,  $k_2^2 = \varepsilon_2 = 4$ ,  $h = 0.6$ ,  $\omega/2\pi = 3$  ТГц,  $\sigma^{(1)} \approx 2.6 \cdot 10^{-4} + 4.9 \cdot 10^{-4} i$  См,  $\sigma^{(3)} \approx -5.2 \cdot 10^{-17} i$  См  $\cdot$  м<sup>2</sup>  $\cdot$  В<sup>-2</sup>,  $A = 10^7$  В  $\cdot$  м<sup>-1</sup>,  $x_0 = 2h$ ,  $z_0 = 0$ .

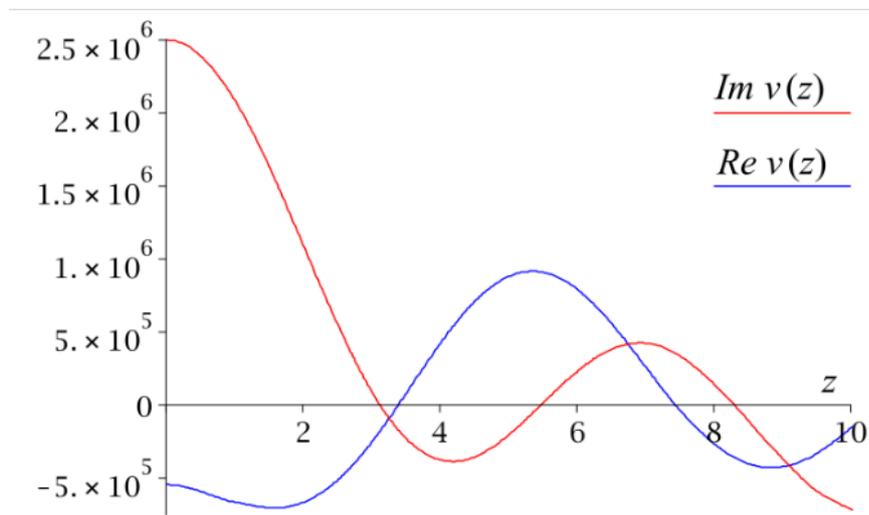


Рис. 1. Приближенное решение уравнения (6)

Таким образом, для решения задача дифракции монохроматического ТЕ-поляризованного света на двумерном слое покрытом графеном с учетом оптической нелинейности графена разработан эффективный математический метод. Главными преимуществами

данного метода являются отсутствие ограничений на выбор параметров задачи (в том числе на частоту электромагнитной волны) и возможность задания проводимости двумерного покрытия произвольным образом, что открывает широкие возможности для исследования решеток из графеновых полос.

### *Список литературы*

1. Polianin A. D., Nazaikinskii V. E. Handbook of linear partial differential equations for engineers and scientists. 2nd ed. New York : Chapman and Hall/CRC, 2016. 1643 p.

2. Ervin V. J., Stephan E. P. Collocation with Chebyshev polynomials for a hypersingular integral equation on an interval // Journal of Computational and Applied Mathematics. 1992. Vol. 43, № 1. P. 22 –229.

3. Mikhailov S. A., Ziegler K. Nonlinear electromagnetic response of graphene: frequency multiplication and the self-consistent-field effects // Journal of Physics: Condensed Matter. 2008. Vol. 20, № 38. P. 384204.

УДК 517.44

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ОПЕРАТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

**Олег Эммануилович Яремко**

*Московский государственный технологический университет  
«СТАНКИН», г. Москва, Россия*

yaremki8@gmail.com

**Аннотация.** Решение многоточечной краевой задачи для уравнения Лапласа представляется суммой ряда, слагаемые которого есть решения задач Дирихле, взятые с определенными весами. Аналогично решение краевой задачи для уравнения Лапласа в правой полуплоскости с внутренними условиями сопряжения выражается через решения ряда последовательных задач Дирихле. Нелокальная краевая задача погружается в однопараметрическое или многопараметрическое семейство краевых задач. Это семейство в предельных случаях содержит в себе рассматриваемую краевую задачу и модельную задачу Дирихле. Найдено решение нелокальных многоточечных краевых задач для уравнения Лапласа в правой полуплоскости.

**Ключевые слова:** нелокальные краевые задачи, оператор преобразования, внутренние граничные условия

# MODELING OF FLAT POTENTIAL FIELDS BY THE METHOD OF TRANSFORMATION OPERATORS

Oleg E. Yaremko

*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia*

yaremki8@gmail.com

**Abstract.** The solution of a multipoint boundary value problem for the Laplace equation is represented by the sum of a series whose terms are solutions of Dirichlet problems taken with certain weights. Similarly, the solution of a boundary value problem for the Laplace equation in the right half-plane with internal conjugation conditions is expressed through solutions of a series of successive Dirichlet problems. A nonlocal boundary value problem is embedded in a one-parameter or multiparameter family of boundary value problems. In limiting cases, this family contains the boundary value problem under consideration and a model Dirichlet problem. A solution of nonlocal multipoint boundary value problems for the Laplace equation in the right half-plane is found.

**Keywords:** nonlocal boundary value problems, transformation operator, internal boundary conditions

Математические модели, возникающие при исследовании ряда прикладных задач, приводят к необходимости решения нелокальной краевой задачи для уравнений математической физики [1, 2, 4, 5]. Основные результаты теории нелокальным краевых задач можно найти в известной работе А. Л. Скубачевского [4]. Одним из источников задач с нелокальными интегральными условиями для уравнений в частных производных были работы А. В. Лыкова [6], посвященные моделированию процессов тепло-массообмена. Цель настоящего исследования является развитие теории операторов преобразования как метода гомотопического анализа и применение его к решению нелокальных краевых задач для уравнения Лапласа в областях с плоской симметрией. В нашей работе уточняется понятие оператора преобразования для решения краевых задач теории потенциала. В качестве примера рассмотрим задачу Дирихле для уравнения Лапласа в правой полуплоскости

$$\begin{aligned}\widetilde{u}''_{xx} + \widetilde{u}''_{yy} &= 0, 0 < x, -\infty < y < \infty, \\ \widetilde{u}(0, y) &= g(y).\end{aligned}\tag{1}$$

а также нелокальные краевые задачи для уравнения Лапласа

$$\begin{aligned} u''_{xx} + u''_{yy} &= 0, 0 < x, -\infty < y < \infty, \\ u(0, y) - \Gamma u(x, y)|_{x=0} &= g(y), \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\Gamma u(x, y) = \sum_{j=1}^n \alpha_j u(x + l_j, y), l_1 < l_2 < \dots < l_n, \alpha_j \in (0, 1).$$

Оператор преобразования устанавливает изоморфизм [5] краевых задач (1), (2). В нашем случае оператором преобразования является оператор  $\Gamma$ . Оператор  $\Gamma$  преобразует гармоническую функцию в полуплоскости в гармоническую функцию, а нелокальные граничные условия преобразует в граничные условия Дирихле.

Метод операторов преобразования [1] представляет собой полуаналитический метод решения нелинейных уравнений в обыкновенных или частных производных. Метод операторов преобразования использует концепцию гомотопии из топологии для создания решения сходящегося ряда для нелинейных систем. Это становится возможным благодаря использованию ряда Маклорена для учета нелинейностей в системе. Рассмотрим задачу Дирихле для уравнения Лапласа в полуплоскости (1). Рассмотрим также однопараметрический набор нелокальных краевых задач для уравнения Лапласа в правой полуплоскости

$$\begin{aligned} u''_{xx} + u''_{yy} &= 0, 0 < x, -\infty < y < \infty, \\ u(0, y) - q\Gamma u(x, y)|_{x=0} &= g(y). \end{aligned}$$

Заметим, что при  $q = 0$  мы получаем задачу Дирихле (1), а при  $q = 1$  получаем многоточечную краевую задачу (1) – (2). Решение краевой задачи (1) – (2) получим в виде разложения Маклорена по степеням  $q$

$$u(x, y) = \tilde{u}(x, y) + \sum_{j=1}^{\infty} \tilde{u}_j(x, y)q^j.$$

В этом случае члены ряда Маклорена определяются по итерационной формуле как решения задачи Дирихле

$$\begin{aligned} \widetilde{u}_{jxx}'' + \widetilde{u}_{jyy}'' &= 0, 0 < x, -\infty < y < \infty, \\ \widetilde{u}_j(0, y) &= \Gamma \widetilde{u}_{j-1}(x, y)|_{x=0}, \end{aligned}$$

При значении  $q = 1$  получаем решение краевой задачи (2) в виде

$$u(x, y) = \tilde{u}(x, y) + \sum_{j=1}^{\infty} \tilde{u}_j(x, y).$$

Метод операторов преобразования можно применить для решения краевых задач для уравнения Лапласа в правой полуплоскости

$$u''_{xx} + u''_{yy} = 0, x \in (0, l) \cup (0, \infty), -\infty < y < \infty,$$

с краевым условием Дирихле

$$u(0, y) = g(y),$$

с внутренними условиями сопряжения на прямой  $x = l$

$$u(l-, y) = u(l+, y),$$

$$\lambda_1 u'(l-, y) = \lambda_2 u'(l+, y).$$

Краевая задача (1)–(2) может быть вложена в однопараметрическое семейство краевых задач вида

$$u''_{xx} + u''_{yy} = 0, x \in (0, l) \cup (0, \infty), -\infty < y < \infty,$$

$$u(0, y) = g(y)$$

$$u(l-, y) = u(l+, y),$$

$$(1 - q\kappa)u'(l-, y) = (1 + q\kappa)u'(l+, y),$$

где

$$\kappa = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}.$$

Решение данной однопараметрической задачи получается разложением в ряд Маклорена по степеням  $q$

$$u(x, y) = \tilde{u}(x, y) + \sum_{j=1}^{\infty} \tilde{u}_j(x, y)q^j,$$

где неизвестные гармонические функции  $\tilde{u}_j(x, y)$  однозначно определяются итерационными формулами

$$u'_{jl+, y} - u'_{jl-, y} = \kappa u'_{j-l+, y} + u'_{j-1l-, y} \tilde{u}'_j(l+, y) - \tilde{u}'_j(l-, y) = \\ \kappa \left( \tilde{u}'_{j-}(l+, y) + \tilde{u}'_{j-1}(l-, y) \right), \\ \tilde{u}_j(l+, y) - \tilde{u}_j(l-, y) = 0, \tilde{u}_j(0, y) = 0.$$

Непосредственно проверяется, что для функций  $\tilde{u}_j(x, y)$  справедливо явное представление

$$\tilde{u}_j(x, y) = \tilde{u}(x + 2lj, y) - \tilde{u}(-x + 2lj, y), 0 < x < l, -\infty < y < \infty.$$

Для решения задачи с нелокальными граничными условиями получим формулу

$$u(x, y) = \tilde{u}(x, y) + \sum_{j=1}^{\infty} \left( \tilde{u}(x + 2lj, y) - \tilde{u}(-x + 2lj, y) \right) \kappa^j q^j, \\ 0 < x < l, -\infty < y < \infty.$$

При выборе параметра  $q = 1$  получаем решение задачи с внутренними граничными условиями.

### **Список литературы**

1. Carroll R. Transmutation Theory and Applications. North Holland, 1986.
2. Gilbert R., Begehr H. Transformations, Transmutations and Kernel Functions. New York : Longman Scientific & Technical, 1992. Vol. 1, 2.
3. Liao S. J. Beyond Perturbation: Introduction to the Homotopy Analysis Method. Boca Raton : Chapman and Hall/CRC Press, 2003.
4. Skubachevskii A. L. Nonclassical boundary value problems // Journal of Mathematical Sciences. 2008. Vol. 155, № 2. P. 199–334.
5. Yaremko O. E. Transformation operator and boundary value problems // Differential Equation. 2004. Vol. 40, № 8. P. 1149–160.
6. Лыков А. В. Тепломассообмен : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергия, 1978. 480 с.

## **2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ**

---

УДК 004.921

### **GAIT ANALYSIS AND RECOGNITION BASED ON TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERISTICS**

**Ding Aodi<sup>1</sup>, Alexander M. Nedzvedz<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Belarusian State University, Minsk, Belarus*

<sup>1</sup>aodiding541@gmail.com

<sup>2</sup>nedzveda@tut.by

**Abstract.** To recognize a person's gait, it is proposed to use a transformer network based on data about the character's skeleton and their gait. By recognizing the skeleton, it is possible to avoid the influence of clothing, hairstyle, and posture. For effective analysis, it is necessary to extract spatial and temporal characteristics of the gait from sequences of video frames, combining the use of the transformer as a base model. The gait CASIA-B database was used to train the neural network. This implementation allowed for the construction of a gait model independent of the angle of video capture.

**Keywords:** gait analysis, spatial characteristics, generative networks, channel-by-channel, video analysis

### **АНАЛИЗ И РАСПОЗНАВАНИЕ ПОХОДКИ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННЫХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Дин Аоди<sup>1</sup>, Александр Михайлович Недзьведзь<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

<sup>1</sup>aodiding541@gmail.com

<sup>2</sup>nedzveda@tut.by

**Аннотация.** Для распознавания походки человека предлагается использовать сеть-трансформер, основанную на данных о скелете персонажа и его походке. Посредством распознавания скелета удастся избежать влияния одежды, причёски и осанки. Для эффективного анализа необходимо извлечь пространственные и временные характеристики походки из последовательности кадров видео, используя трансформер в качестве базовой

модели. Для обучения нейронной сети применялась база данных gait CASIA-B. Такая реализация позволила построить модель походки вне зависимости от угла регистрации видео.

**Ключевые слова:** анализ походки, пространственные характеристики, генеративные сети, channel-by-channel, анализ видео

**Background information:** Gait recognition technology is not only used in people recognition, but also in the medical field. As early as 1996, gait was proven to be a biometric feature of human beings, and it has also been successfully applied in medicine. For this reason, in the future, gait recognition technology can be combined with clinical work to realize the rapid detection of gait anomalies in patients, and determine the corresponding medical conditions through gait anomalies. In addition to the diagnosis of disease conditions, gait recognition technology can also become an intelligent tool for rehabilitation medicine and orthopedics, assisting doctors to quickly analyze the activity status of relevant muscles and bones and formulate a series of rehabilitation and orthopedic programs. As a new force in the field of biometrics, gait recognition is still a big challenge in some aspects, such as the poor robustness of the model to occlusion and self-occlusion, the easy loss of feature information, the small size of the database, and the inability of a single gait recognition technology to meet the needs of some specific scenes.

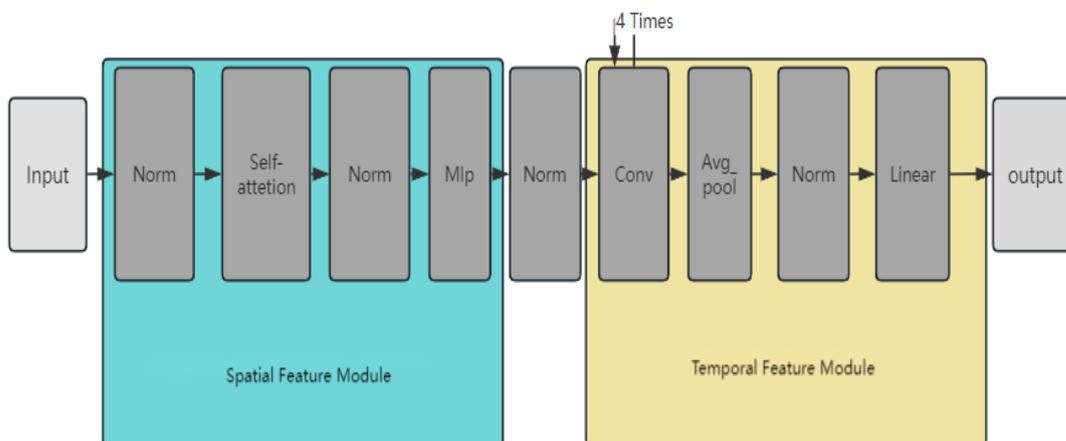


Fig. 1. Gait Recognition Architecture

In this experiment, skeletal joint-based gait recognition is used, while the keypoint-based gait recognition method adopts human keypoints as model inputs, thus ignoring the interference brought by appearance such as clothing, and the information composed of keypoint

sequences can be regarded as real gait characterization, and the key-point-based gait recognition has a greater potential. As can be seen from Figure 1, in order to extract more appropriate features, spatial feature extraction module and temporal feature extraction module are used, respectively, to extract features from spatial features of key point locations of the data skeleton, and to further extract features from the gait sequence of walking by using two types of convolution kernels of different sizes for the feature map locally and in general, and then output the predicted data to complete the experiments through the fully-connected layer.

**Data preparation:** The training data used is CASIA-B data, targeting 5114 males and 5193 females, ranging in age from 2 to 87 years old, with 14 perspectives, which were transformed by preprocessing the dataset into a 4-dimensional data of 300 batchsizes, coordinates of 2 joints, 17 human skeletal joints, and 60 frames in a sequence, with 300 of them as a batch size.

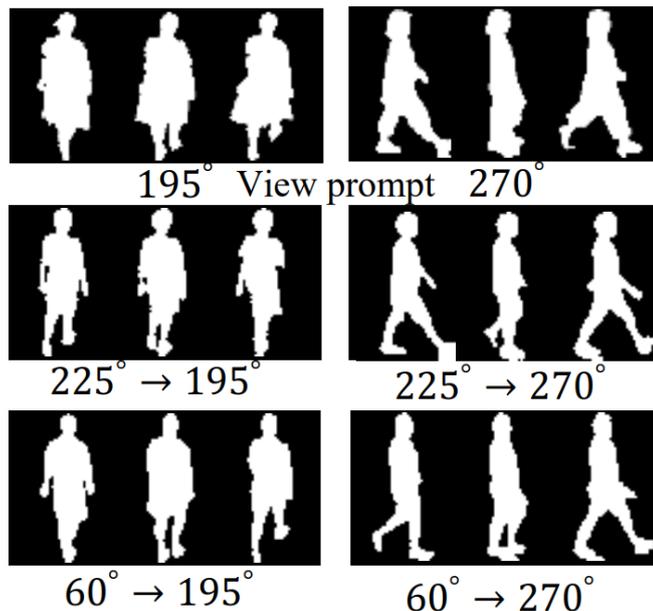


Fig. 2. Gait data

**Spatial model construction:** The spatial model is constructed as a linear transformation that extends the data format to 300, 60, 17, 32, from two channels to 32 channels, while the resulting weights and biases are stored in the parameters. The positional information is encoded into the semantic representation, where the positional information is 1, 17, 32 is the multi-headed self-attention. The data is summed with the

original data by the results obtained from layer normalization and multihead self-attention. Layer normalization is the last dimension normalization of the data and multihead self-attention enables the network to pay attention to different parts of the network. MLP is multilayer perceptual machine which consists of two fully connected layers.  $1 \times 1$  convolutional kernel is used to change the number of channels 32 to 128, nonlinearity is added by the activation function GELU, and a second  $1 \times 1$  convolutional kernel is used to change the number of channels 128 to 32, and dropout is added behind both fully connected layers to prevent overfitting. The final layer normalization is performed with the number of channels being 32.

**Temporal feature model construction:** The temporal feature module uses the output of the previous spatial module as input first using big convolution and small convolution, a convolution kernel for small feature, a channel is only creation by a convolution kernel, this process produces exactly the same number of channels of the feature map and the number of channels of the input, the big convolution uses  $31 \times 1$  convolution kernels, a 32-channel image is generated by the big convolution operation. After four temporal mixers, through layer normalization, linear projection, the 256 channels are projected into 128 channels finally the results are derived by fully connected had.

**Loss function construction:** For supervised learning the loss formula is as follows [1]:

$$\text{Loss} = \sum_{i \in I} \frac{-1}{|P(i)|} \sum_{p \in P(i)} \log \frac{\exp(z_i \cdot z_p / \tau)}{\sum_{\alpha \in A(i)} \exp(z_i \cdot z_\alpha / \tau)} \quad (1)$$

$p$  for the same class and  $\alpha$  for different classes, which maximizes negative samples and minimizes positive samples.  $P(i) \equiv \{p \in A(i) : \tilde{y}_p = \tilde{y}_i\}$  is the set of indices of all positives in the multiviewed batch distinct from  $i$ , and  $|P(i)|$  is its cardinality.

**Model Comparisons:** From the above table it can be seen that in this experiment the average accuracy of the model used reaches 86.9 %, testing the dataset in different scenarios in the data and finally found to be more accurate than the other four models by the average correctness as table 1. It shows the competitive performance of our skeleton-based approach compared to the representative appearance-based approach, and from the data results this experiment achieves the purpose of the experiment.

Averaged Rank-1 accuracies on CASIA-B

	<b>Our Model</b>	PoseGait [2]	GaitSet [3]	Deep-Gaitv2 [4]	GaitBase [5]
CL	<b>85.1</b>	68.3	95.1	79.5	73.4
DN	<b>94.3</b>	35.4	84.3	85.1	77.3
BG	<b>81.4</b>	44.5	70.2	82.1	76.1
Mean	<b>86.9</b>	49.4	83.2	82.2	75.6

**Conclusion:** In this paper, the 2D skeletal joint coordinates were analyzed from the spatial and temporal features. The method is extract those features from the data, that include high and low frequency dynamics of the gait data. It was extracted using two different convolution kernels, and training and validation. Testhing of method was carried out on the CASIA-B gait dataset, and the final data result reaches 86.9 %, and the accuracy rate has exceeded than PoseGait, GaitSet, Deep-Gaitv2, GaitBase models. It has completed the identification of the character through the skeleton to the gait from different points of view.

### References

1. Wang X., Han X., Huang W. [et al.]. Multi-Similarity Loss with General Pair Weighting for Deep Metric Learning. URL: [https://openaccess.thecvf.com/content\\_CVPR\\_2019/papers/Wang\\_Multi-Similarity\\_Loss\\_With\\_General\\_Pair\\_Weighting\\_for\\_Deep\\_Metric\\_Learning\\_CVPR\\_2019\\_paper.pdf](https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/papers/Wang_Multi-Similarity_Loss_With_General_Pair_Weighting_for_Deep_Metric_Learning_CVPR_2019_paper.pdf)
2. Liao R., Yu Sh., An W., Huang Y. A model-based gait recognition method with body pose and human prior knowledge // Pattern Recognition. 2020. Vol. 98. P. 107069.
3. Chao H., Wang K., He Y. [et al.]. Gaitset: Cross-view gait recognition through utilizing gait as a deep set // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2021. doi: 10.1109/TPAMI.2021.3057879
4. Fan Ch., Liang Ju., Shen Ch. [et al.]. Opengait: Revisiting gait recognition towards better practicality // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Vancouver, 2023. P. 9707–9716.
5. Amos B., Ludwiczuk B., Satyanarayanan M. [et al.]. Openface: A general-purpose face recognition library with mobile applications // CMU School of Computer Science. 2016. № 6 (2). URL: [https://www.academia.edu/85057925/OpenFace\\_A\\_general\\_purpose\\_face\\_recognition\\_library\\_with\\_mobile\\_applications](https://www.academia.edu/85057925/OpenFace_A_general_purpose_face_recognition_library_with_mobile_applications)

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Юрий Юрьевич Горюнов<sup>1</sup>,  
Татьяна Юрьевна Леонова<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>g1955or@mail.ru

<sup>2</sup>tank\_81@bk.ru

**Аннотация.** Предложен вариант применения сети Кохонена в имитационном моделировании.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сети Кохонена

## NEURAL NETWORKS IN SIMULATION MODELING

Yuri Yu. Goryunov<sup>1</sup>, Tatyana Yu. Leonova<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>g1955or@mail.ru

<sup>2</sup>tank\_81@bk.ru

**Abstract.** A variant of the Kohonen network application in simulation modeling is proposed.

**Keywords:** simulation modeling, Kohonen networks

Система Anylogic PLE – это популярное свободно распространяемое ПО для имитационного моделирования реальных систем различных типов [1]. Появившаяся в 2011 г. версия 0.0.4 бесплатной библиотеки NeuroLab на языке python [2] позволила достаточно легко использовать все основные виды нейронных сетей в имитационном моделировании [3]. Целью работы является разработка модели с использованием сети Кохонена [4] для моделирования доставки товара заказчикам.

Постановка задачи. Во всех районах города Пензы есть потребители Товара, координаты потребителей известны. Каждый потребитель один раз за рабочий день (8 часов) в случайное время делает заказ Товара, который поступает в один из трёх центров. В штате каждого центра состоят 20 курьеров для доставки заказов

на автомобилях. Заказы в центре передаются первым в очередях курьерам, которые доставляют их заказчикам, после чего возвращаются на свои базы.

Цели моделирования. 1. Разбить множество всех потребителей на три кластера, разместить центры в центрах этих кластеров. 2. Визуализировать динамику изменения средних расстояний, которые проезжают курьеры каждого кластера, и число не доставленных ими заказов.

Результаты моделирования представлены на рис. 1–3: на рис. 1 изображён фрагмент карты горда Пензы с курьерами, едущими к заказчикам, на рис. 2 – средние расстояния, которые проехали курьеры каждого центра, а на рис. 3 – динамика изменения числа недоставленных заказов курьерами каждого центра.

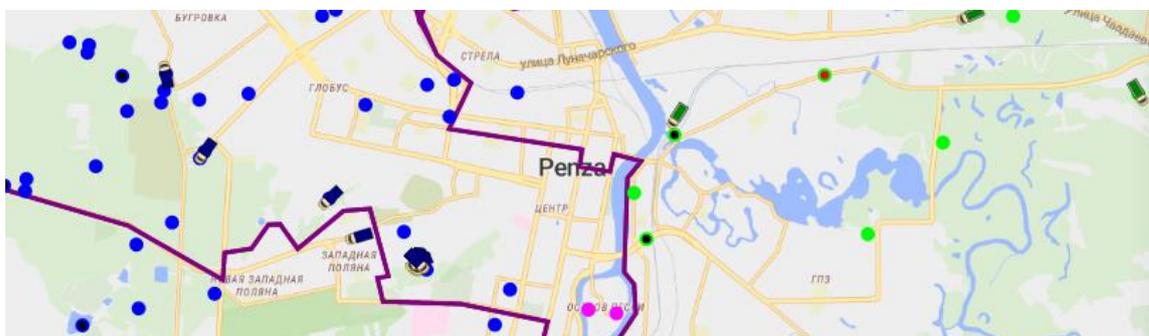


Рис. 1

### Средние расстояния, которые проехали курьеры

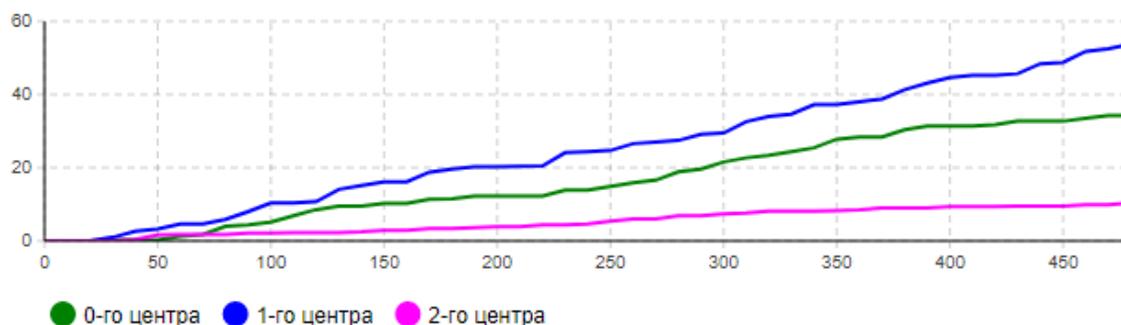


Рис. 2

Из результатов моделирования следует, что заказчики первого центра наиболее отдалены от центра кластера, поэтому у курьеров первого кластера больше всего недоставленных заказов. В связи с этим, следует рекомендовать увеличить число курьеров первого центра.

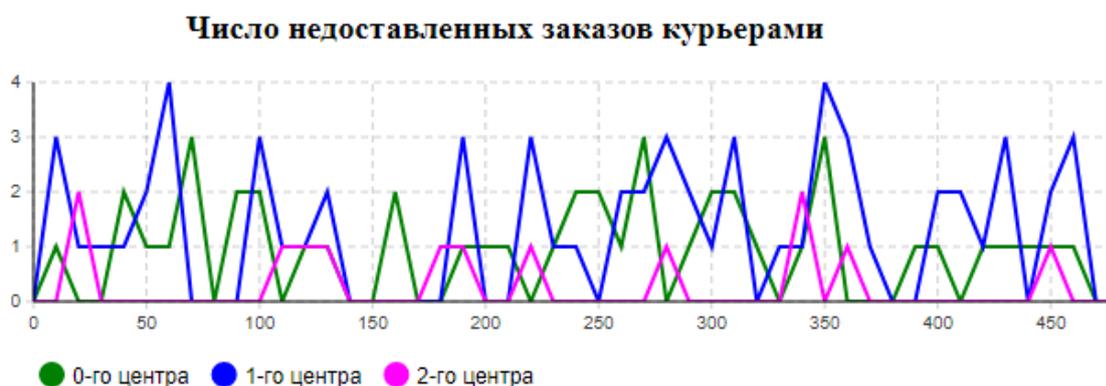


Рис. 3

### *Список литературы*

1. Документация AnyLogic. URL: <https://anylogic.help/ru/> (дата обращения: 24.09.2024).
2. Документация по neurolab. URL: <https://pythonhosted.org/neurolab/> (дата обращения: 24.09.2024).
3. Борщев А. В., Махдави А. Имитационные модели как виртуальная среда для обучения и тестирования искусственного интеллекта для бизнес-приложений // Девятая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности : тр. конф. (г. Екатеринбург, 16–18 октября 2019 г.). Екатеринбург : Изд-во Урал. Гос. пед. ун-та, 2019. С. 20–29.
4. Ахметов Б. С., Горбаченко В. И. Нейронные сети. Алматы : КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, 2016. 256 с.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

---

УДК 004.9

#### KOTLIN COROUTINES IN COMPARISON WITH JAVA 21 VIRTUAL THREADS

**Maxim I. Safronov**

*Lightspeed East LLC, Yerevan, Armenia*

safronov.maxim@inbox.ru

**Abstract.** Concurrency and parallelism are fundamental concepts in computer science that enhance the efficiency of task execution. Concurrency involves managing multiple tasks that may overlap in execution time, utilizing system resources effectively, particularly in multi-core environments. Parallelism, a subset of concurrency, focuses on executing tasks simultaneously across multiple processing units, significantly improving performance for computationally intensive applications. This paper explores Java 21's introduction of Virtual Threads, a lightweight threading model under Project Loom, which simplifies concurrency and optimizes resource management. Additionally, it examines Kotlin's coroutines, emphasizing their structured concurrency model that promotes ease of use, maintainability, and efficiency in asynchronous programming. While both Virtual Threads and coroutines provide substantial benefits, challenges remain regarding overhead management when scaling to large numbers of tasks. This study highlights the balance between performance and resource utilization in modern concurrency frameworks.

**Keywords:** parallelism, threads, tasks, scheduling

#### КОРУТИНЫ КОТЛИН В СРАВНЕНИИ С ВИРТУАЛЬНЫМИ ПОТОКАМИ JAVA 21

**Максим Игоревич Сафронов**

*ООО «Лайтспид Ист», г. Ереван, Армения*

safronov.maxim@inbox.ru

**Аннотация.** Конкурентность и параллелизм – это фундаментальные концепции в информатике, повышающие эффективность выполнения задач. Конкурентность включает управление несколькими задачами, которые могут частично перекрываться по времени выполнения, с эффективным использованием системных ресурсов, особенно в многоядерных системах.

Параллелизм, являющийся подмножеством конкурентности, фокусируется на одновременном выполнении задач на нескольких процессорных ядрах, значительно улучшая производительность для приложений с большим количеством вычислений. Рассматриваются виртуальные потоки в Java 21 – легкие модели потоков в рамках проекта Loom, которые упрощают конкурентность и оптимизируют управление ресурсами. Также исследуются корутины Kotlin с акцентом на их структурированную модель конкурентности, которая обеспечивает простоту применения, поддерживаемости и эффективность в асинхронном программировании. Несмотря на существенные преимущества как виртуальных потоков, так и корутин, остаются проблемы управления накладными расходами при масштабировании на большое количество задач. Исследование подчеркивает важность баланса между производительностью и использованием ресурсов в современных фреймворках для обеспечения конкурентности.

**Ключевые слова:** параллелизм, потоки, задачи, планирование

## **What is concurrency and parallelism**

Concurrency in computer science (1) refers to the concept of executing multiple tasks or processes in overlapping time periods, where tasks may be executed in parallel (simultaneously) or interleaved (in a time-sliced manner) on a single or multiple processors. It involves managing multiple tasks that are running concurrently, without necessarily requiring them to run at the exact same time.

The key idea is that tasks can progress independently, making efficient use of system resources, especially in modern computing environments with multi-core processors.

Parallelism in computer science refers to the concept of executing multiple tasks or operations simultaneously, leveraging multiple processing units (such as cores or processors) to perform computations in parallel. Parallelism is a subset of concurrency, where tasks are not just interleaved or overlapping, but are actively running at the same time. This enables significant performance improvements, particularly for computationally intensive tasks, by reducing the overall execution time.

Parallelism is widely used in various fields, including scientific computing, machine learning, graphics processing, and high-performance computing, where tasks can be divided into smaller sub-tasks that can be processed independently.

## **Java 21 approach to lightweight virtual threads**

Java 21 introduces Virtual Threads (2), a major feature of the Project Loom initiative, which aims to dramatically simplify concurrency and improve the scalability of Java applications. Virtual Threads are lightweight threads that can be created in large numbers, as they

consume much less memory and CPU resources compared to traditional threads (which are known as platform threads in Java).

Virtual Threads are implemented in the JVM as part of a lightweight, user-space scheduler. This allows the JVM to handle many threads concurrently while avoiding the overhead of native OS thread management. When a virtual thread is blocked on I/O or waiting for some other resource, the underlying OS thread can be repurposed to run other virtual threads.

```
public class VirtualThreads {
    public static void main(String[] args) {
        Thread virtualThread = Thread.startVirtualThread(() ->
            System.out.println("Running task in a "
                + Thread.currentThread().getName()));
        try {
            virtualThread.join(); // Waiting for virtual threads to complete
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

Picture 1. Example of code, written with Java 21 Virtual Threads

### **Kotlin coroutines approach and its benefits**

Kotlin 2.0 Coroutines (3) is a significant upgrade to Kotlin concurrency model, focusing on enhancing the existing coroutine system and making asynchronous programming in Kotlin more efficient, expressive, and easier to use. Coroutines are Kotlin's way of handling concurrency in a lightweight, non-blocking manner, and they allow developers to write asynchronous code in a sequential style.

Virtual Threads are implemented in the JVM as part of a lightweight, user-space scheduler. This allows the JVM to handle many threads concurrently while avoiding the overhead of native OS thread management. When a virtual thread is blocked on I/O or waiting for some other resource, the underlying OS thread can be repurposed to run other virtual threads.

**Note:** Before using coroutines, make sure to add the necessary dependencies to your build.gradle (for Gradle) or pom.xml (for Maven) file. For Gradle, add the following dependencies:

```
implementation("org.jetbrains.kotlinx:kotlinx-coroutines-core:1.9.0")
```

```

8     runBlocking {
9         val dispatcher = Executors
10            .newVirtualThreadPerTaskExecutor()
11            .asCoroutineDispatcher()
12         val result = async(dispatcher) {
13             val startTime = System.nanoTime()
14             println(
15                 "Running task in a virtual thread: "
16                 + Thread.currentThread().name
17             )
18             delay( timeMillis: 1000L)
19             return@async System.nanoTime() - startTime
20         }
21         println(result.await())
22     }

```

Picture 2. Example of code, written with Kotlin coroutines

This Kotlin code above demonstrates how to use Kotlin coroutines with virtual threads and the `async` function, along with the `runBlocking` block for running a coroutine in a blocking context.

### Benefits of using a coroutines

The most valuable benefit of using Kotlin coroutines is Structured concurrency (4). Structured concurrency ensures that coroutines are tied to specific scopes and lifecycles, which prevents issues such as coroutines leaking or becoming orphaned. This model makes it easier to manage cancellation and error handling, ensuring that child coroutines are automatically canceled when their parent scope is canceled.

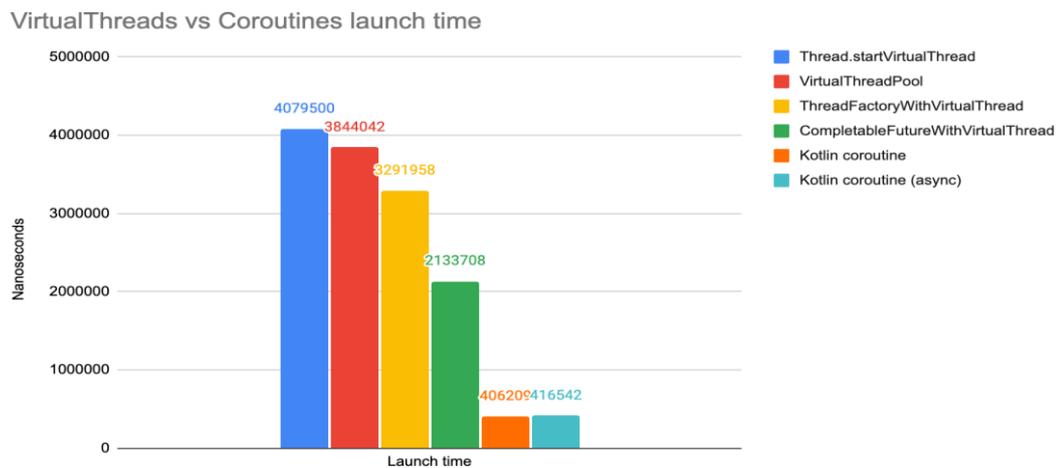
Coroutines allow you to write asynchronous code in a sequential style, making it easier to read and maintain compared to callback-based approaches. You can use `suspend` functions to represent asynchronous tasks and wait for results, making the code look and behave like normal synchronous code.

Coroutines are lightweight compared to threads. They don't require their own memory stacks, which makes them more memory-efficient. Unlike threads, which are resource-heavy and slow to create, coroutines are created with minimal overhead and can be scheduled more efficiently.

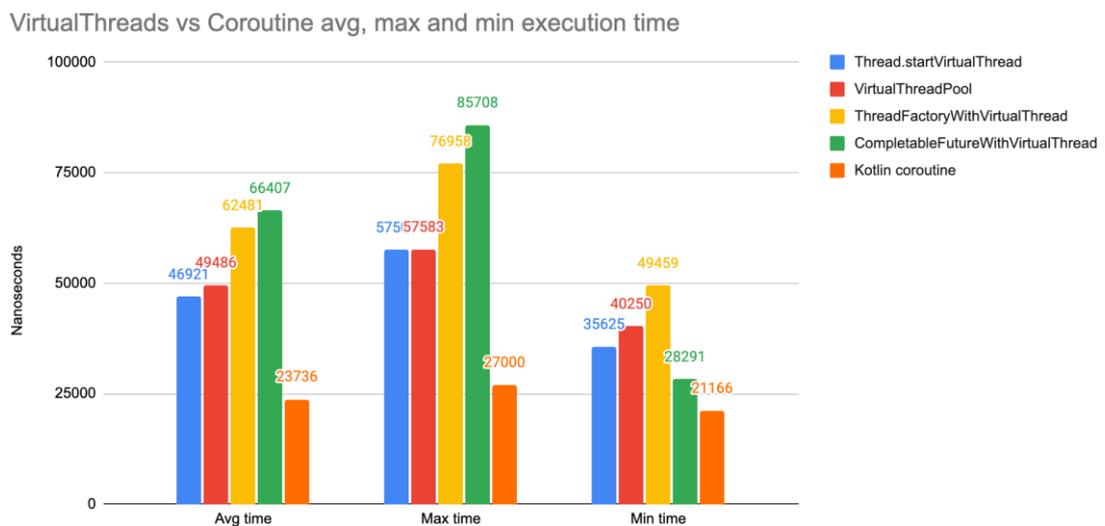
### Performance tests of Virtual Threads and Coroutines

In performance benchmarks, Kotlin coroutines can efficiently manage around 1 million coroutines with a memory footprint of

approximately 10 MB, demonstrating their lightweight nature (5). In comparison, Java virtual threads can also support high concurrency, managing hundreds of thousands of threads with a memory usage that can reach 20 MB or more, depending on the workload. While coroutines exhibit lower overhead in terms of context switching—around 10 microseconds per switch—virtual threads may experience slightly higher overhead due to their integration with the JVM's native thread management. Picture 3 and 4 below shows a difference between Virtual Threads and Coroutines.



Picture 3. Launch time for all possible VirtualThread builders against sync and async Coroutine builders



Picture 4. Execution time for all possible VirtualThread builders against sync and async Coroutine builders

Overall, coroutines are often faster for lightweight, non-blocking tasks, while virtual threads shine in scenarios involving blocking I/O operations.

## Conclusion

The most important thing we should keep in mind: **Non-Blocking Does Not Mean Non-Expensive**. While coroutines are lightweight compared to threads, they still have some overhead. This overhead is particularly noticeable when you're managing thousands or millions of coroutines. Although coroutines are designed to be low overhead, if you're handling a very large number of coroutines (e.g., millions of lightweight tasks), the underlying infrastructure (like the dispatcher) could still introduce noticeable CPU and memory overhead.

Example: A scenario where you're launching thousands of coroutines in a tight loop with minimal work done inside them might still cause performance degradation due to the scheduling overhead.

## References

1. Ciesko J., Poliakoff D., Hollman D. [et al.]. Towards Generic Parallel Programming in Computer Science Education with Kokkos // IEEE/ACM Workshop on Education for High-Performance Computing. 2020. P. 35–42. doi: 10.1109/EduHPC51895.2020.00010
2. Chigurov M., Kulikova V., Krylova E. Virtual Threads In Java 19 And Spring Boot 3: Enhancing Performance And Efficiency Of Applications // Vestnik of M. Kozybayev North Kazakhstan University. 2024. P. 117–122. doi: 10.54596/2958-0048-2024-1-117-122
3. Elizarov R., Belyaev M., Akhin M., Usmanov I. Kotlin coroutines: design and implementation // SPLASH '21: Software for Humanity. 2021. P. 68–84. doi: 10.1145/3486607.3486751
4. Jagnik N. Structured Concurrency in Java // Journal of Mathematical & Computer Applications. 2023. № 2. P. 1–3. doi: 10.47363/JMCA/2023(2)E127
5. Chauhan K., Kumar Sh., Sethia D., Alam M. Performance Analysis of Kotlin Coroutines on Android in a Model-View-Intent Architecture pattern // 2nd International Conference for Emerging Technology. Belgaum, 2021. P. 1–6. doi: 10.1109/INCET51464.2021.9456197

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МНОГОЗАДАЧНОСТИ

Евгений Андреевич Бувевич<sup>1</sup>, Олег Эммануилович Яремко<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Московский государственный технологический университет  
«СТАНКИН», г. Москва, Россия*

<sup>1</sup>gftcompmod@gmail.com

<sup>2</sup>yaremki8@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрено понятие горизонтальных простоев применительно к дисциплине обслуживания с разделением процессора. Предложен критерий оптимальности реализации вычислительных алгоритмов на заданном оборудовании. Рассмотрено его применение для нескольких типов многозадачности.

**Ключевые слова:** система массового обслуживания, разделение процессора, параллелизм уровня инструкций, одновременная многопоточность

## OPTIMIZATION OF COMPUTING ALGORITHMS FOR VARIOUS TYPES OF MULTITASKING

Eugene A. Buevich<sup>1</sup>, Oleg E. Yaremko<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia*

<sup>1</sup>gftcompmod@gmail.com

<sup>2</sup>yaremki8@gmail.com

**Abstract.** The concept of horizontal waste is considered in relation to the PS service discipline, a criterion for the optimality of the implementation of computational algorithms on a given hardware is proposed, and its application to several types of multitasking is considered.

**Keywords:** queueing model, processor-sharing, instruction level parallelism, simultaneous multithreading

Для верхнеуровневой оценки производительности алгоритма на конкретном оборудовании широкое распространение получила модель Roofline ("линия крыши") [1], согласно которой производительность системы определяется отношением количества вычислений (в общем случае любых операций) к числу загрузок из памяти. Эта величина называется операционной интенсивностью

("operational intensity"). Производительность системы линейно зависит от операционной интенсивности на участке от нуля до критической точки достижения теоретического максимума:

$$C = \min \left\{ \frac{C_{max}}{L_{max} * K_L} \right. \quad (1)$$

где  $C$  – производительность системы в операциях в секунду,  $C_{max}$  – теоретический максимум для заданных алгоритма и оборудования,  $L_{max}$  – пропускная способность памяти,  $K_L$  – операционная интенсивность. Отсюда  $K_L$  для критической точки выглядит как  $K_{Lmax} = C_{max}/L_{max}$ .

Современные процессоры состоят из модулей нескольких типов, работающих параллельно, однако в большинстве случаев для вычислений используется только один из них (целочисленный или с плавающей точкой), определяющий производительность всей системы. Пропускная способность каждого модуля – константа, поэтому  $n$  однотипных модулей можно представить как один, имеющий в  $n$  раз большую пропускную способность. Иногда используется термин "порт", подразумевающий интерфейс между самим модулем и остальными частями процессора. Далее под основным понимается наиболее загруженный вычислительный модуль.

Вместо операционной интенсивности более удобно пользоваться величиной, отражающей загруженность этого модуля:

$$K_U = \frac{C_U}{C_{Umax}}, C_U = \frac{C}{(1+K_L)}, C_{Umax} = \frac{C_{max}}{(1+K_{Lmax})} \quad (2)$$

где  $C_U$  – число инструкций основного вычислительного модуля за такт,  $C_{Umax}$  – максимально возможное их число (константа для заданного алгоритма и оборудования),  $K_U$  – коэффициент загрузки основного модуля.

Ситуация, в которой  $K_U < 1$ , называется горизонтальным простоем процессора [2]. При  $K_U > 1$  горизонтальный простой происходит в других модулях, но это не влияет на производительность алгоритма, поэтому далее этот термин используется только применительно к основному модулю. Формулу (1) можно представить как:

$$C = C_{max} * \min \left\{ \frac{1}{K_U} \right. \quad (3)$$

Если измерять  $C$  и  $C_{max}$  в заданиях в секунду, то они будут отражать пропускную способность ядра процессора применительно к алгоритму.

Величина  $K_U$  имеет смысл, отличный от принятого в теории массового обслуживания коэффициента утилизации устройства  $\rho$ . Во время горизонтального простоя устройство (ядро процессора) выполняет какую-то работу, которая в случае дисциплины обслуживания с очередями будет учтена в общем времени обслуживания. Однако для дисциплины с разделенным процессором [3] (PS в нотации Кендала), в это время могут выполняться основные операции другой задачи, и, таким образом, пропускная способность устройства увеличивается. Результирующий коэффициент для системы будет некоторой функцией от коэффициентов выполняющихся задач:

$$\bar{K}_U = F(K_{U1}, K_{U2}, \dots, K_{Un}), \quad (4)$$

где  $K_{U1}, K_{U2}, \dots, K_{Un}$  – соответствующие коэффициенты для каждой из выполняющихся задач по отдельности. Вид этой функции зависит от типа многозадачности.

Итеративные вычислительные задачи являются примером закрытой системы массового обслуживания, отсюда  $\rho = 1$  почти всегда и число заданий, присутствующее в системе, одновременно может быть любым (предельная вероятность нахождения системы в любом состоянии равна нулю [3]). Ядро микропроцессора можно представить как систему массового обслуживания с эгалитарным разделением процессора, пропускная способность которой соответствует формулам (3) и (4). Таким образом,  $\bar{K}_U$  может использоваться как критерий оптимальности алгоритма. Для определения вида формулы (4) рассмотрим возможные причины горизонтальных простоев.

**Зависимости по данным:** вычислительный модуль является конвейером с заданной пропускной способностью. Использование результата инструкции не может начаться раньше, чем через количество тактов  $D$ , соответствующее длине конвейера и называемое латентностью. Однако на каждом такте может начинаться не связанная с уже выполняющимися операция.

Наличие в вычислениях  $n-1$  ассоциативных операций над  $n$  операндами позволяет выбирать из нескольких вариантов реализаций, отличающихся размером используемой памяти и длинами

цепочек зависимостей. Наиболее экономичным с точки зрения использования памяти будет последовательное выполнение операций, дающее  $D \cdot n$  тактов простоя. Также результатом работы алгоритма могут быть несколько независимых величин, допускающих параллельное вычисление. Например, для матричных операций, число цепочек вычислений равно числу элементов результирующей матрицы.

Обе эти возможности позволяют задействовать параллелизм уровня инструкций (ILP) – одновременный обсчет  $D$  цепочек позволит устранить простои, вызванные зависимостью по данным. Для ILP формула (4) принимает вид суммы:

$$\bar{K}_U = \sum_{i=1}^n K_{Ui} \quad (5)$$

**Кэш промахи:** получение данных для больших объемов вычислений сопряжено с длительным временем их загрузки в процессор. Память системы разделена на несколько уровней, нулевым являются регистры процессора с моментальным доступом, далее идет несколько уровней кэша и основная память. Каждая цепочка требует некоторого объема данных в каждом из уровней, поэтому величины  $L_{max}$  и  $C_{Umax}$  также зависят от  $n$ . Вид этой зависимости достаточно сложен, в работе [4] предлагается алгоритм составления матриц перераспределения данных по уровням кэширования в зависимости от  $n$ . На практике ограничителем количества цепочек является размер регистрового файла – число промежуточных результатов, которое процессор может запомнить без обращений в память. Размеры уровней кэша ограничивают максимальную длину цепочки в тех случаях, когда какие-либо данные используются несколько раз. Хорошим примером такого подхода является алгоритм умножения матриц, разработанный Kazushige Goto [5].

Результатом подобного разделения вычислений на блоки является независимое от  $n$  распределение данных по уровням памяти, однако это порождает разделение кода на несколько фаз с различными  $K_u$ .

**Фазы выполнения кода:** для выполнения первой операции в цепочке необходимо получение ее операндов из памяти, что даст дополнительную задержку. Этим можно пренебречь для цепочек неограниченной длины, однако, как показано выше, их длина ограничивается размером кэша. Также дополнительную задержку дает сохранение промежуточных результатов. Для исключения кэш

промахов может быть выделена фаза подготовки данных, сохраняющая их часть в удобном для чтения порядке перед переиспользованием.

Теоретически возможен код, в котором часть цепочек зависимостей находится в основной фазе, а часть проходит фазы загрузки или сохранения. Если удастся обеспечить  $K_u > 1$  в основной фазе, чередование ее инструкций с другими в пропорции, заданной весами  $\omega_i$ , позволит избежать горизонтальных простоев. Подобный подход интересен тем, что в нем полностью отсутствуют стохастические величины, и величина  $C_U$  в функции (2) является взвешенным средним арифметическим. Тогда формула (4) выглядит так:

$$\bar{K}_U = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i C_{Ui}}{C_{Umax} * \sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (6)$$

Но это сложно реализовать в рамках одного потока управления. В работе [6] показано смешение подготовительной фазы и фазы вычислений для умножения матриц, которое ограничено одной итерацией цикла, и потому не приводит к радикальному приросту производительности. Смешение фаз вычисления и сохранения для данного алгоритма также выполнялось в рамках работы [7], но по той же причине фазу сохранения удалось частично совместить лишь с последней итерацией цикла.

Современные процессоры позволяют одновременно выполнять несколько потоков (SMT многозадачность) и обходить это ограничение. Интуитивно понятно, что в случае параллельной работы идентичных потоков, состоящих из нескольких фаз, общая производительность будет зависеть от фазового сдвига. Из-за синхронизации потоков при сохранении промежуточных результатов величина сдвига является псевдослучайной величиной, зависящей от механизма синхронизации. Для длинных вычислительных циклов возможно обеспечить близкое к равномерному распределение фазового сдвига, добавив в потоки простои различного размера [7]. Приняв вероятность занятости основного порта одним из потоков как  $K_u$ , и соответственно его простоя как  $1 - K_u$ , можно получить следующий вид формулы (4) для SMT:

$$\bar{K}_U = \frac{\sum_{i=1}^n K_U^{i*} (1-K_U)^{n-i*} \binom{i}{n}}{(1-K_U)^n + \sum_{i=1}^n K_U^{i*} (1-K_U)^{n-i*} \binom{i}{n}} \quad (7)$$

Для наиболее частого случая двух потоков формула (7) сводится к

$$\bar{K}_U = \frac{2K_U}{1+K_U^2}. \quad (8)$$

Вывод формул (7) и (8) легко проследить из таблицы 1 для двух потоков:

Таблица 1

**Вероятность занятости порта**

Занятость порта, поток 1	Занятость порта, поток 2	Итоговая занятость, тактов, (i)	Вероятность, $K_U^i * (1 - K_U)^{n-i}$	Число возможных сочетаний, $\binom{i}{n}$
0	0	0	$K_U^2$	1
0	1	1	$K_U^1(1 - K_U)^1$	2
1	0	1	$K_U^1(1 - K_U)^1$	
1	1	2	$(1 - K_U)^2$	1

В [7] использованы два потока для реализации умножения плотных матриц, что привело к приросту производительности на 5,6 %. Последующий анализ показал слабые места двухпоточной реализации, их устранение позволило достичь 9,7 % прироста, и результат приблизился к теоретическому прогнозу по формуле (8). Код итоговой реализации доступен по ссылке <https://github.com/evgnort/sgemm>.

Таким образом, учет горизонтальных простоев в дисциплине "разделенный процессор" позволяет находить более производительные реализации вычислительных алгоритмов.

**Список литературы**

1. Williams S., Waterman A., Patterson D. Roofline: An Insightful Visual Performance Model for Multicore Architectures // Communications of the acm. 2009. Vol. 52, № 4. P. 65–76.
2. Tullsen D., Eggers S. J., Levy H. M. Simultaneous multithreading: Maximizing on-chip parallelism // Proceedings of the 22nd annual international symposium on Computer architecture. Seattle, 1995. P. 392–403.
3. Harchol-Balter M. Performance Modeling and Design of Computer Systems: Queueing Theory in Action. New York : Cambridge University Press, 2013. 548 p.

4. Буевич Е. А., Яремко О. Э. Влияние числа потоков на пропускную способность вычислительной системы // Моделирование нелинейных процессов и систем – Янус-К : материалы седьмой Междунар. конф. М., 2024. С. 65–71.

5. Goto K., Geijn R. Anatomy of high-performance matrix multiplication // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). 2008. № 34 (3). P. 1–25.

6. Xu R., Van Zee F., Van de Geijn R. GEMMFIP: Unifying GEMM in BLIS // ArXiv. 2023. doi: 10.48550/arXiv.2302.08417

7. Буевич Е. А. Использование одновременной многопоточности в высокопроизводительных вычислительных алгоритмах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. № 12 (2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1588> (дата обращения: 16.10.2024).

УДК 004.02

## ДЕКЛАРАТИВНЫЙ И ИМПЕРАТИВНЫЙ ПОДХОДЫ К НАПИСАНИЮ КОДА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ JAVA

Ольга Станиславовна Дорофеева<sup>1</sup>,  
Алексей Владимирович Градсков<sup>2</sup>,  
Сергей Витальевич Живов<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>dos@pnzgu.ru

<sup>2</sup>Gradskovaleksej@gmail.com

<sup>3</sup>sergej.zhivov.96@inbox.ru

**Аннотация.** Рассматриваются два основных подхода к написанию кода на языке Java: декларативный и императивный. Декларативный подход акцентирует внимание на том, что должно быть выполнено, позволяя разработчикам сосредоточиться на логике и конечном результате, в то время как императивный подход требует указания последовательности шагов для достижения цели. Приводятся результаты анализа преимуществ и недостатков каждого из подходов, их влияния на читаемость и поддерживаемость кода.

**Ключевые слова:** код, императивный подход, декларативный подход, разработка

# A DECLARATIVE AND IMPERATIVE APPROACH TO WRITING JAVA CODE

Olga S. Dorofeeva<sup>1</sup>, Alexey V. Gradskov<sup>2</sup>, Sergey V. Zhivov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>dos@pnzgu.ru

<sup>2</sup>Gradskovaleksej@gmail.com

<sup>3</sup>sergej.zhivov.96@inbox.ru

**Abstract.** Two main approaches to writing Java code are considered: declarative and imperative. The declarative approach focuses on what needs to be done, allowing developers to focus on logic and the end result, while the imperative approach requires specifying a sequence of steps to achieve the goal. We analyze the advantages and disadvantages of each approach, their impact on the readability and maintainability of the code.

**Keywords:** code, imperative approach, declarative approach, development

В задачах программирования выбор подхода к написанию кода может существенно повлиять на его читаемость, поддерживаемость и производительность. В языке Java, как и в других языках, существуют два основных стиля программирования: декларативный и императивный. Декларативный подход сосредоточен на описании желаемого результата, оставляя детали реализации на усмотрение компилятора или интерпретатора. В свою очередь, императивный стиль требует от разработчика четкого указания последовательности действий, необходимых для достижения цели.

С каждым годом, с ростом сложности программных систем и увеличением объемов данных, декларативные подходы становятся все более популярными. Они позволяют разработчикам выражать свои намерения более лаконично и интуитивно, что способствует улучшению качества кода и снижению количества ошибок. Однако императивный подход по-прежнему находит широкое применение, особенно в задачах, требующих точного контроля над процессом выполнения [1]. В статье рассматриваются оба подхода, их основные характеристики, преимущества и недостатки. Цель анализа – помочь разработчикам лучше понять, когда и как применять каждый из стилей для достижения оптимальных результатов в своих проектах.

## **Декларативный подход: его преимущества и недостатки**

Декларативный подход к программированию в Java фокусируется на том, что должно быть сделано, а не на том, как это

сделать [2]. Он позволяет разработчикам выражать свои намерения более абстрактно, используя высокоуровневые конструкции и библиотеки. Примеры декларативного программирования в Java включают использование Stream API, SQL-запросов в JDBC и библиотек для работы с данными, таких как Hibernate.

Преимущества декларативного подхода:

1) Читаемость. Декларативный код обычно более лаконичен и понятен. Он позволяет разработчикам сосредоточиться на бизнес-логике, а не на деталях реализации.

2) Поддерживаемость. Благодаря более высокому уровню абстракции декларативный код проще поддерживать. Изменения в бизнес-логике часто требуют минимальных изменений в коде, что снижает вероятность возникновения ошибок.

3) Возможность оптимизации. Многие декларативные подходы позволяют компиляторам и интерпретаторам оптимизировать выполнение кода. Например, в случае использования Stream API, Java может применять различные оптимизации (ленивые вычисления, параллельная обработка), которые могут значительно улучшить производительность.

Недостатки декларативного подхода:

1) Ограниченная гибкость. Декларативные конструкции могут быть менее гибкими по сравнению с императивными. В некоторых случаях разработчики могут столкнуться с ограничениями, когда стандартные методы не позволяют реализовать специфические требования.

2) Дополнительное обучение. Для новых разработчиков или тех, кто привык к императивному стилю, переход на декларативное программирование может быть сложным. Понимание абстракций и концепций может занять достаточно длительное время.

3) Сложность отладки. Декларативный код сложнее отлаживать, особенно когда возникают ошибки в абстракциях. Поскольку разработчики не управляют процессом выполнения напрямую, выявление причин ошибок может быть затруднительным.

Рассмотрим пример вычисления суммы чисел от 1 до 10 с неявной реализацией цикла (рис. 1).

```
int sum = IntStream.rangeClosed(1, 10)
                    .sum();
System.out.println(sum);
```

Рис. 1. Реализация цикла с помощью декларативного подхода

## **Императивный подход: его преимущества и недостатки**

Императивный подход в программировании акцентирует внимание на том, как выполнить задачу, используя последовательность команд и инструкций [3]. В языке Java этот подход широко используется и имеет свои уникальные преимущества и недостатки. Рассмотрим императивный подход, его сильные стороны, а также ограничения, связанные с контролем процесса выполнения и предсказуемостью поведения кода.

Преимущества императивного подхода:

1) Контроль процесса выполнения. Императивный подход предоставляет разработчикам полный контроль выполнения кода. Это позволяет управлять порядком выполнения операций, состоянием переменных и логикой программы на более низком уровне.

2) Гибкость. Императивный стиль программирования позволяет легко адаптировать код под изменяющиеся требования. Разработчики могут вносить изменения в логику программы без пересмотра высокоуровневых абстракций.

3) Простота отладки. Отладка императивного кода проще, так как разработчик имеет полный контроль состояния программы и может пошагово просматривать выполнение каждой инструкции.

4) Оптимизация производительности. В некоторых случаях императивный код может быть более производительным, т.к. разработчик может оптимизировать его под конкретные задачи, используя различные алгоритмы.

Недостатки императивного подхода:

1) Сложность кода. Императивный код часто оказывается более громоздким и сложным для понимания. Необходимость явно описывать каждую операцию может привести к увеличению объема кода и снижению его читаемости.

2) Непредсказуемое поведение. Из-за высокой степени контроля процесса выполнения императивный код может быть менее предсказуемым. Разработчики должны внимательно следить за состоянием программы и порядком выполнения операций, чтобы избежать неожиданных результатов.

3) Сложность сопровождения. Поддержка императивного кода сложнее из-за его громоздкости и потенциальной запутанности. Изменения в одной части программы могут непредсказуемо повлиять на другие части.

Используем тот же пример вычисления суммы чисел от 1 до 10, но в императивном стиле с явной реализацией цикла (рис. 2).

```
int sum = 0;
for (int i = 1; i <= 10; i++) {
    sum += i;
}
System.out.println(sum);
```

Рис. 2. Реализация цикла с помощью императивного подхода

## Заключение

На основании изложенного выше, можно сделать следующее заключение. Выбор между декларативным и императивным подходами при написанию кода на Java зависит от конкретных задач, требований проекта и предпочтений команды разработчиков [4]. Декларативный подход предлагает ясность, лаконичность и упрощенную поддержку, что делает его идеальным для работы с высокоуровневыми абстракциями и сложными данными. В то же время императивный подход предоставляет полный контроль процесса выполнения, что может быть критически важным в ситуациях, требующих высокой производительности и специфической логики.

Каждый из подходов имеет свои уникальные преимущества и недостатки, и понимание их особенностей позволяет разработчикам выбирать наиболее подходящий стиль программирования для решения конкретных задач. Важно помнить, что сочетание обоих подходов может привести к созданию более гибкого и эффективного кода, способного удовлетворить разнообразные требования современных приложений. Таким образом, осознанный выбор подхода и умение адаптироваться под меняющиеся условия разработки являются ключевыми факторами успешного программирования на Java.

## Список литературы

1. Нестеренко В. А. Парадигмы программирования / Южный федеральный университет. Ростов н/Д. ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. 99 с.
2. Декларативное программирование // Hexlet. URL: [https://ru.hexlet.io/courses/java-streams/lessons/declarative-programming/theory\\_unit](https://ru.hexlet.io/courses/java-streams/lessons/declarative-programming/theory_unit) (дата обращения: 30.09.2024).

3. Сливкина А. История развития парадигм программирования // История математики : сб. работ студентов-магистрантов факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова. М. : МАКС Пресс, 2021. С. 360–372.

4. Гаврилов А. В., Клименков С. В., Николаев В. В. [и др.]. Программирование на языке Java : конспект лекций . СПб. : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2023. 131 с.

УДК 004.432

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕДОСТАТОЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ PYTHON СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА MOJO**

**Дмитрий Сергеевич Никулин**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

nikulin1997.05@mail.ru

**Аннотация.** Исследуется проблема недостаточной производительности языка Python при программировании и обучении нейронных сетей. Рассматривается язык программирования Mojo как альтернативное средство решения проблемы производительности Python. Раскрываются основные особенности языка Mojo, специфика его применения.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, языки программирования, Mojo, Python, быстроедействие

## **ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF SOLVING THE PROBLEM OF INSUFFICIENT PYTHON PERFORMANCE USING THE MOJO LANGUAGE**

**Dmitry S. Nikulin**

*Penza State University, Penza, Russia*

nikulin1997.05@mail.ru

**Abstract.** The article deals with the problem of insufficient performance of the Python language in programming and training neural networks. The Mojo

programming language is considered as an alternative means of solving the Python performance problem. The main features of the Mojo language and the specifics of its application are given.

**Keywords:** neural network, programming languages, Mojo, Python, performance

Нейронные сети, как один из аспектов машинного обучения, получают все большее распространение в настоящее время. Наиболее популярным языком для программирования остается *Python*. Тем не менее, у данного языка имеются минусы в виде низкого быстродействия компиляции разработанных программ по сравнению с другими языками. Разработанный компанией «*Modular*» язык программирования *Mojo* призван нивелировать недостаточное быстродействие *Python*, при сохранении простоты его кодировки и синтаксиса. Основная цель данной статьи – рассмотреть актуальность языка *Mojo* в сравнении с *Python*. Задачи статьи:

1. Рассмотреть особенности языка *Python*.
2. Рассмотреть особенности языка *Mojo*.
3. Определить их достоинства и недостатки.
4. Сделать выводы.

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой математические функции (нейроны), обрабатывающие входные значения и выдающие результаты в виде численных значений, либо векторов. Нейронная сеть представляет собой модель, построенную по принципу реализации биологических живых нервных клеток – нейронов [1]. Так как нейронные сети представляют собой совокупность математических функций, объединенных в слои, для программирования нейронных сетей подойдет любой язык программирования, способный обрабатывать сложные математические функции, иначе говоря, является «полным по Тьюрингу» [1]. Согласно данным статистики [2], самыми часто применяемыми языками на 2024 год для разработки ИНС являются *Python, Java, Prolog, C(C++/C#), Haskell*.

Преимущество конкретного языка определяется следующими факторами:

- порог вхождения разработчика;
- наличие среды разработки и библиотек программирования;

- распространённость методических материалов;
- особенности синтаксиса языка;
- применимость языка в машинном обучении (для разработки нейронных сетей).

Достаточно сложно оценить относительную частоту использования программистами конкретного языка для разработки ИНС в процентном соотношении, однако, согласно данным портала *TI-OBE*, наиболее популярным языком программирования остается *Python* [3]. Данный язык относится к объектно-ориентированному программированию, является языком высокого уровня [4].

Язык программирования *Python* был разработан в 1989–1991 гг. голландским программистом Гвиндо Вам Россумом. В настоящее время наиболее актуальной версией является 3.0. (2008). Основные принципы *Python*:

- простота и воспринимаемость кода;
- правила кодировки отличаются простотой, но жесткостью соблюдения и стремлением к минимизации множества трактовок и исключений;
- ориентированность языка на конкретные задачи (управление компонентами других приложений, анализ данных, *web*-разработка, *ML* (машинное обучение), разработка развлекательных приложений, автоматизация бизнес-процессов).

Особенности *Python*:

1. Интерпретируемость. Операторы кода выполняются последовательно интерпретатором. При возникновении ошибки, выполнение программы прерывается. Это позволяет оперативно выявлять ошибки кода, но снижает производительность.

2. Важность табуляции – пробелы и отступы в коде являются синтаксически значимыми.

3. Поддержка большинства графических интерфейсов, доступных для импорта.

4. Динамическая типизация представляет собой определение типа данных переменной в момент, когда ей присваивается значение. Это ускоряет процесс набора кода, но повышает вероятность ошибок.

5. Низкое быстродействие вследствие применения интерпретируемости, *GIL* (*Global Interpreter Lock*, ограничивает выполнение только одной инструкции *Python* в любой момент времени на одном процессоре), медленные операции ввода-вывода.

Как одно из основных решений проблемы быстродействия *Python*, предложен язык *Mojo*. *Mojo* был представлен в мае 2023 г. Разработчики: компания «*Modular*», основной разработчик Крис Лэттнер. Как и *Python*, *Mojo* является объектно-ориентированным языком высокого уровня. Ключевая особенность данного языка заключается в сохранении основных принципов *Python* (относительно простая воспринимаемость кода и порог вхождения программиста) и соблюдении его синтаксиса [5]. При этом, разработчики заявляют о повышении быстродействия по сравнению с *Python* в 35 000 раз (как пример приводится алгоритм вычисления и построения множества Мандельброта [6]). Достигаются данные значения скорости обработки кода за счет использования средств компилятора *LLVM* и компилятора *MLIR*, отвечающего за многоуровневое промежуточное представление (в отличие от однопоточного выполнения кода *Python*, выполняется параллельная обработка на нескольких ядрах). Также, *Mojo* использует методы метапрограммирования на этапе компиляции, кеширование (хранение данных во временном хранилище для быстрого доступа) во время компиляции и методы адаптивной компиляции (позволяет вносить небольшие изменения в программу, без необходимости повторной компиляции неиспользуемого кода).

Данный язык ориентирован в первую очередь для задач машинного обучения, в частности, обучения нейронных сетей [7]. Основные отличия от *Python*:

1. Возможность объявлять переменные среды с ограниченной областью.

2. Объект «*struct*», представляет собой аналог «*class*» языка *Python*, но при этом он является статическим – формируется во время компиляции, не позволяя вносить изменения во время выполнения программы. Данная технология позволяет хранить атрибуты в памяти, облегчая их использование в структурах. Это улучшает производительность и уменьшает вероятность возникновения ошибок.

3. В отличие от динамической типизации, в *Mojo* существуют механизмы контроля операций с типами. Конкретно, при описании кода в структурах, это исключает вероятность ошибки.

В целом, синтаксис *Mojo* базируется на синтаксисе *Python*. Разработчики стремятся к максимальной интеграции с данным языком и его библиотеками, а также легкой конвертации проектов

*Python* в *Mojo*. Тем не менее, существуют некоторые отличия синтаксиса – *Mojo* не поддерживает именованные аргументы функций, ключевое слово «*global*», некоторые специальные выражения для создания словарей и списков.

Программные среды разработки (*IDE*) *Mojo*:

- *Visual Studio code*;
- *IntelliJ IDEs*;
- Онлайн-обработчик кода *Modular* [8] (требуется регистрация, недоступны *Python*-библиотеки).

Важным нюансом *Mojo* в настоящее время является ограниченное на данный момент количество сред разработки для программирования кода. Компанией «*Modular*» было выпущено специальное расширение обработки кода для *Visual Studio Code* [9], но набор инструментов *SDK*, необходимый для полноценной работы данного расширения, функционирует только на *OS Linux*, либо *MAC OS* (добавление *SDK* для *OS Windows* планируется разработчиками в будущем). Кроме того, данный язык все еще находится в активной стадии разработки, что может требовать частых обновлений, либо замены программных инструментов. Важно обратить внимание на то, что при создании проекта в соответствии с инструкциями на официальном сайте [10], невозможно установить программные пакеты для разработки, по причине блокировки доступа к серверам из Российской Федерации.

При этом, сама по себе установка программных инструментов кодировки *Mojo* сопряжена с достаточными сложностями, т.к. часть программных средств компании «*Modular*» в 2024 году была переименована и заменена (программный модуль «*Modular CLI*» был заменен «*Magic*»). Вероятно, в ближайшее время возникнут аналогичные тенденции к усовершенствованию, что делает часть общедоступных инструкций по установке *Mojo* бесполезными. Кроме того, вследствие раннего доступа к разработке и отладке программных средств, *Mojo* не имеет базы распространённых ошибок при программировании крупных проектов.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы. *Mojo* объективно является более быстрым языком по сравнению с *Python* за счет использования собственных компиляторов и методов интерпретации кода. Тем не менее, отсутствие полной интегрируемости с библиотеками *Python*, малое количество методических документов, состояние раннего доступа не позволяет полноценно

использовать *Mojo* в крупных проектах. При этом, программирование на других языках (семейство *C(C++/C#)*, *Java*), позволяет достигать достаточного быстродействия, что ставит под сомнение актуальность *Mojo*. При этом, тесты разработчиков, демонстрирующие быстродействие *Mojo*, носят узконаправленный характер, что не гарантирует сохранение данного показателя для проектов другой специфики. В целом, данный язык будет интересен программистам на языке *Python*, а также разработчикам *Python*, чьи проекты требуют повышения быстродействия.

Вывод. *Mojo* является современной альтернативой *Python*. Он сохраняет низкий порог вхождения программиста и простоту синтаксиса *Python*, при этом значительно увеличивая быстродействие обработки кода. Однако незавершенность разработки, отсутствие большого числа интегрируемых библиотек (и неполная интегрируемость с большинством библиотек *Python*), наличие возможных проблем с крупными проектами, отсутствие сформированного сообщества программистов, проблемная установка *SDK* в некоторых регионах и ограниченная специфика применения делают его не самым привлекательным решением. Но, у данной разработки имеется потенциал, за счет чего можно прогнозировать его дальнейшее развитие.

### Список литературы

1. Ростовцев В. С. Искусственные нейронные сети. 4-е изд., стер. СПб. : Лань, 2024. 216 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/364517> (дата обращения: 02.10.2024).
2. 10 Best Artificial Intelligence (AI) Programming Languages in 2024 // Octal IT Solution LLP : website. URL: <https://www.octalsoftware.com/blog/best-artificial-intelligence-ai-programming-languages> (дата обращения: 30.09.2024).
3. Index for September 2024 // TIOBE : website. URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения: 30.09.2024).
4. Борзунов С. В., Кургалин С. Д. Языки программирования. Python: решение сложных задач. СПб. : Лань, 2023. 192 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/319391> (дата обращения: 08.10.2024).
5. Mojo Manual // Modular/Docs : website. URL: <https://docs.modular.com/mojo/manual/> (дата обращения: 01.10.2024).
6. Mandelbrot in Mojo with Python plots // Modular/Docs : website. URL: <https://docs.modular.com/mojo/notebooks/Mandelbrot> (дата обращения: 30.09.2024).
7. Mojo may be the biggest programming language advance in decades // Fst.ai : website. URL: <https://www.fast.ai/posts/2023-05-03-mojo-launch.html> (дата обращения: 01.10.2024).

8. Playground // Modular/Docs : website. URL: <https://docs.modular.com/mojo/playground> (дата обращения: 01.10.2024).

9. Mojo for Visual Studio Code // Visual Studio Marketplace : website. URL: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=modular-mojotools.vscode-mojo> (дата обращения: 02.10.2024).

10. Get started with Mojo // Modular/Docs : website. URL: <https://docs.modular.com/mojo/manual/get-started> (дата обращения: 30.09.2024).

УДК 004.9

## **СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА НА БАЗЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ ИНТЕРФЕЙСА СЕТЕВОГО ДРАЙВЕРА**

**Андрей Алексеевич Тихонов<sup>1</sup>, Роман Николаевич Федюнин<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>eltixanofficial@gmail.com

<sup>2</sup>frn\_penza@mail.ru

**Аннотация.** Разработан механизм обработки интернет-трафика на базе технологий NDIS 6.8 при помощи драйверов ядра операционных систем семейства Windows. Экспериментально показано, как данный механизм позволяет обрабатывать, изменять и управлять сетевым трафиком на транспортном уровне сетевой модели OSI.

**Ключевые слова:** обработка интернет-трафика, сетевые драйверы, стек технологий NDIS

## **A METHOD FOR PROCESSING INTERNET TRAFFIC BASED ON THE SPECIFICATIONS OF THE NETWORK DRIVE INTERFACE**

**Andrey A. Tikhonov<sup>1</sup>, Roman N. Fediunin<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>eltixanofficial@gmail.com

<sup>2</sup>frn\_penza@mail.ru

**Abstract.** A mechanism for processing Internet traffic based on NDIS 6.8 technologies using kernel drivers of Windows operating systems has been

developed. It is experimentally shown how this mechanism allows you to process, modify and manage network traffic at the transport level of the OSI network model.

**Keywords:** internet traffic processing, network drivers, NDIS technology stack

Механизмы обработки сетевого трафика позволяют выполнять обширное количество задач над входящим и исходящим сетевым трафиком такие как: модификация, шифрование, сортировка для последующей обработки, выборка, сбор статистики и т.д. На основе данных операций возможно создать огромное количество программного обеспечения, которое будет выполнять задачи по защите и шифрованию информации, журналирование сетевого трафика для последующего его анализа и обработки, построения собственных новых сетевых протоколов, выявлении и блокировании подозрительного сетевого трафика или его фильтрации на основе установленных правил.

Стоит так же отметить, что с большинством вышеописанных задач возможно использование технологий нейронных сетей. Однако стоит отметить, что при работе в ядре операционной системы с сетевым трафиком, особенно при работе с большим его потоком, очень важно учитывать скорость обработки данных, чем, например нейронные сети на данный момент сильно уступают обычным алгоритмам и машинному обучению.

Перехватывать и обрабатывать пакеты на уровне ядра системы позволяет библиотека NDIS, которая представляет собой драйвер операционных систем Windows. NDIS (Network Driver Interface Specification) – это спецификация сетевого интерфейса для драйверов, которая определяет и устанавливает правила того, как сетевые драйверы должны взаимодействовать с сетевым стеком операционной системы Windows [1]. Кроме того, NDIS так же предоставляет библиотеку для работы с сетевым стеком в драйверах. Из основных возможностей, которые предоставляет NDIS можно выделить:

- управлять буферами данных, проходящими через сетевое устройство. В связи с чем появляется возможность фильтровать, изменять, добавлять или удалять сетевые данные (например пакеты или сетевые фреймы);

- позволяет получать уведомления и обрабатывать сетевые события. устройства, такие как отправка или получение пакетов,

изменения состояния устройства и другие, что позволяет создавать различные типы драйверов сетевых устройств;

– имплементация в стек драйверов. Благодаря этой особенности NDIS может встраиваться в стек уже существующих драйверов на разных уровнях и управлять потоком данных на этих уровнях. К примеру, с его помощью драйвер фильтра NDIS может задержать, отменить, добавить пакеты и передать вверх или вниз по стеку драйверов, чтобы, например, конечное веб или приложение пользовательского режима получило данные в необходимом системе виде или не получила их совсем.

Все вышеописанные возможности доказывают, что NDIS является очень мощным инструментом, который можно использовать для создания сетевых драйверов или драйверов сетевых устройств. При помощи этих драйверов появляется возможность выполнять различные операции, описанные выше. Стоит отметить, что на данный момент последняя версия NDIS 6.8 поддерживается операционными системами Windows 11, Windows 10, Windows Server 2022 и Windows Server 2016. Однако существует обратная совместимость драйверов NDIS в пределах одной глобальной версии 6.0, первая из которых выходила одновременно с операционной системой Windows Vista.

Для выполнения большинства поставленных задач удобнее всего будет использовать NDIS драйвер-фильтр, который позволяет перехватывать сетевой трафик приёма и отправки сетевых данных, за счёт встраивания в стек сетевых драйверов сетевого адаптера. Данный тип драйверов выполняет функцию предварительной обработки пакетов в стеке, например данный драйвер может использоваться для фильтрации пакетов по определённым критериям, заданным разработчиками, изменение данных в проходящих по стеку пакетах, добавление новых или удаление проходящих пакетов. Кроме мониторинга и изменения проходящих данных данный тип драйверов может использоваться и для распределения нагрузки в системе, например путём запуска параллельной обработки проходящих через него данных.

Основными функциями NDIS для получения сетевых пакетов, проходящих через сетевой адаптер, являются `SendNetBufferLists` и `ReceiveNetBufferLists`, которые позволяют получать сетевые данные в виде сетевых листов. Главным пара-

метром, передаваемым данной функции, является структура NET\_BUFFER\_LISTS, которая состоит из цепочки сетевых листов (NET\_BUFFER\_LIST). В каждом отдельном листе цепочки содержится список сетевых буферов (NET\_BUFFER), содержащих конечные отправляемые пакеты с данными [2]. На рис. 1 представлен пример общей структуры расположения данных внутри сетевых листов и буферов.

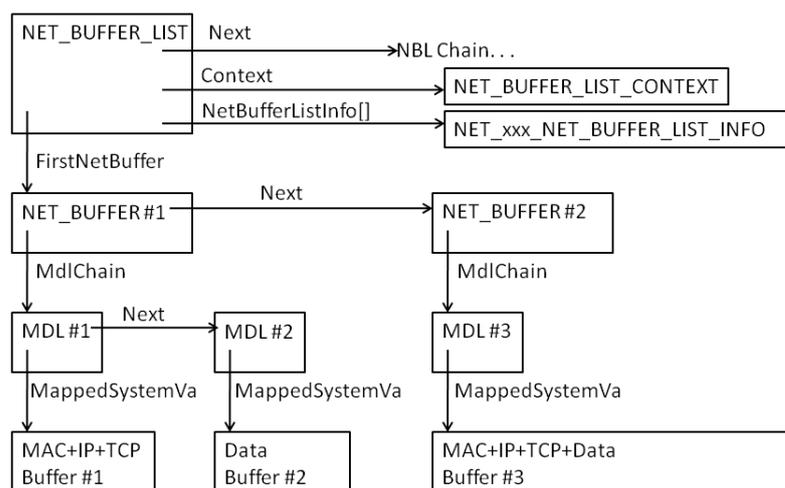


Рис. 1 Общая структура расположения данных сетевых листов NDIS

Основной проблемой, получения полезной нагрузки для шифрования сетевого трафика в драйвере является тот факт, что NDIS в структурах NET\_BUFFER не предоставляет данные в пакете в виде единого непрерывного буфера данных. Вместо этого данные в пакете находятся в списках структур, называемых MDL. MDL (Memory Descriptor List) – это структура описания набора страниц физической памяти, составляющих буфер виртуальной памяти в контексте памяти некоторого процесса, которая используется диспетчером памяти. Так как MDL оперирует страницами физической памяти интерпретация MDL не зависит от контекста памяти, что позволяет использовать MDL в контексте памяти любого процесса. Это очень удобно для обработки пакетов в сетевом стеке драйверов. Данные в MDL будут переданы по стеку уже в изменённом виде, без дополнительных манипуляций с памятью и замедления обработки данных [3]. Однако, факт использования напрямую памяти из MDL приносит с собой и некоторые трудности работы с ними. Ниже, на рис. 2 представлена схема того, как

в памяти располагаются данные одного пакета из сетевого листа NDIS.

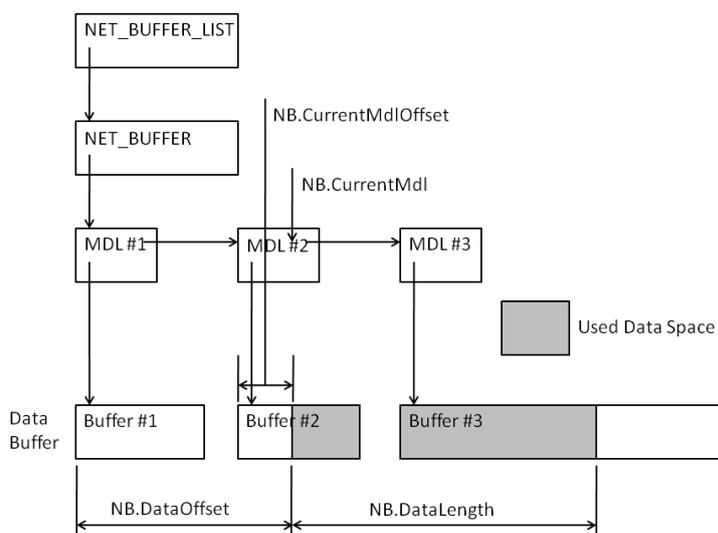


Рис. 2 Расположение в памяти одного пакета данных в контексте NDIS

Из рис. 2 можно выделить факт, что данные, принадлежащие одному пакету, в цепочке структур MDL распределены неравномерно. Даже внутри пакета от начала самой MDL до начала описываемых данных могут присутствовать (и в большинстве случаев присутствуют) дополнительные смещения. При увеличении количества данных в одном получаемом или передаваемом сетевом пакете увеличивается количество MDL в которых эти данные хранятся. Например, в небольших пакетах, данные которых уместятся в одной MDL могут быть представлены в виде одного непрерывного буфера, но такая ситуация на практике происходит очень редко. Таким образом, если все данные пакета не уместятся в одну MDL, то представить данные сетевого пакета в виде единого непрерывного буфера становится невозможным без дополнительных манипуляций с памятью. Решением данной проблемы становится алгоритм постепенного получения данных по мере необходимости из цепочки MDL, принадлежащей одному сетевому пакету. После получения доступа к данным сетевых пакетов появляется возможность выполнять над ними задачи по шифрованию, фильтрации, журналированию сетевого трафика для последующего его анализа и обработки.

### *Список литературы*

1. Руссинович М., Соломон Д. Внутреннее устройство Microsoft Windows. Основные подсистемы ОС. М. : ДМК Пресс, 2018. 944 с.
2. Sufyan T. Faraj Al-Janab, Muayad Kod. On the Development of NDIS Intermediate Driver-Based Virtual Private Networks // The Third International Scientific Conference of Salahaddin University. Erbil, 2011. URL: [https://www.researchgate.net/publication/287994387\\_On\\_the\\_Development\\_of\\_NDIS\\_Intermediate\\_Driver-Based\\_Virtual\\_Private\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/287994387_On_the_Development_of_NDIS_Intermediate_Driver-Based_Virtual_Private_Networks)
3. Гордеев А. В. Операционные системы : учебник для вузов. СПб. : Питер, 2009. 416 с.

## 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 621.396: 629.052.3

### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ WI-FI ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Игорь Иванович Бузенков<sup>1</sup>, Юрий Викторович Редькин<sup>2</sup>,  
Екатерина Романовна Пакшина<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Государственный морской университет имени адмирала  
Ф. Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

<sup>1</sup>igor.buzenkov@mail.ru

<sup>2</sup>redkin\_yura@mail.ru

<sup>3</sup>kattchernysheva@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены технологии повышения точности работы систем локального позиционирования объектов внутри зданий и сооружений, основанные на использовании устройств стандарта IEEE 802.11. Указаны их достоинства, недостатки и достигаемая точность работы. Проанализирована возможность применения линейных антенных решеток для повышения точности работы систем.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, технология Wi-Fi, определение местоположения, система локального позиционирования, антенная решетка

### IMPROVING THE ACCURACY OF WI-FI LOCAL POSITIONING SYSTEMS

Igor I. Buzenkov<sup>1</sup>, Yuri V. Redkin<sup>2</sup>, Catherine R. Pakshina<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia*

<sup>1</sup>igor.buzenkov@mail.ru

<sup>2</sup>redkin\_yura@mail.ru

<sup>3</sup>kattchernysheva@yandex.ru

**Abstract.** The article considers technologies for increasing the accuracy of local positioning systems for objects inside buildings and structures based on the use of IEEE 802.11 standard devices. Their advantages, disadvantages, and achievable accuracy of operation are indicated. The possibility of using linear antenna arrays to increase the accuracy of systems is analyzed.

**Keywords:** wireless network, Wi-Fi technology, location determination, local positioning system, antenna array

Во многих областях техники, транспорта, промышленного производства, ритейла требуется определять местоположение разнообразных объектов техники, транспортных средств, людей внутри и снаружи зданий. Так, в транспортной отрасли позиционирование помогает находить кратчайший путь к местам погрузки и выгрузки контейнеров и грузов в крупных перегрузочных центрах (морских и речных портах, аэропортах, железнодорожных вокзалах). На вредных и опасных производствах трекинг активов и мониторинг движения транспорта и персонала позволяют отслеживать и оперативно реагировать на аварийные ситуации, отслеживать нахождение сотрудников во вредных и опасных зонах, отправлять им предупреждения об опасности и вызывать службы безопасности с указанием точного местоположения и числа людей, находящихся в опасной зоне. Кроме того, часто требуется отслеживать транспортные потоки, контролировать перемещение персонала и транспорта [1].

Все эти и подобные им задачи решаются с помощью систем локального позиционирования, работающих в режиме реального времени (Real-time Locating Systems – RTLS). Внутри зданий и сооружений точное отслеживание объектов затруднено, поскольку сигналы GPS/ГЛОНАСС сильно ослабляются промышленными зданиями и сооружениями и не позволяют точно определить местоположение объекта внутри них [2, 3]. Здесь оптимальным представляется применение систем RTLS, основанных на использовании технологий WLAN или WPAN: Wi-Fi, Bluetooth, UWB или пассивную RFID [4].

В настоящее время в связи с появлением приложений для навигации и позиционирования, устанавливаемых на мобильные устройства (смартфоны, планшеты), трекинг на основе технологии Wi-Fi становится все более востребованным. Основные преимущества систем RTLS на основе технологии IEEE 802.11 заключаются в следующем: для позиционирования объектов можно использовать уже существующую структуру сети Wi-Fi; для расчета местоположения объекта требуется всего несколько секунд, фактически только на поиск и подключение к ближайшим точкам доступа (Access Point – AP) сети; отсутствие проблем при расширении

зоны покрытия системы; затраты на обслуживание системы RTLS на базе Wi-Fi не отличаются от затрат на обычную сеть точек доступа.

Для позиционирования устройств в системах RTLS используются разнообразные технологии определения местоположения объектов на основе Wi-Fi [4, 5]. Рассмотрим наиболее распространенные из известных технологий.

Received Signal Strength Indicator, RSSI – индикатор уровня принятого сигнала. Эта технология использует опорный уровень сигнала на расстоянии 1 м от источника (передаваемый в сообщениях источника) и измеренный объектом позиционирования для расчета удаления объекта от точки доступа. Зная опорный уровень сигнала и измеренный с учетом обратной квадратичной зависимости между расстоянием и потерями на трассе распространения, можно определить расстояние между источником и приемником сигнала. Однако, при неправильном выборе модели канала и оценки его уровня, например, вследствие многолучевости, полученное удаление от AP будет значительно отличаться от реального. Кроме того, отсутствие данных о направлении на AP является существенным ограничением, когда требуется определить данные о местонахождении, а не просто данные о близости объекта.

Оценивая RSSI от разных AP и используя технологию трилатерация (в общем случае, мультилатерацию), можно рассчитать удаление объекта от точек трех точек AP. Далее определяется положение объекта навигации как точка пересечения окружностей на плоскости, радиусы которых равны рассчитанным расстояниям между AP и объектом. Основным недостатком метода трилатерации является значительное влияние ошибок оценки расстояний до точек доступа на итоговую оценку местоположения объекта – точка пересечения окружностей превращается в область. Точность позиционирования объекта зависит от многих факторов, в том числе от количества доступных AP и их расположения внутри здания. На практике данная технология позволяет обеспечить точность от 5 до 10 метров в зависимости от конфигурации сети [6].

Проблема определения местоположения объекта в описанных технологиях связана с тем, что для современных широкополосных систем, работающих внутри зданий и сооружений в условиях многолучевых каналов, идеальные модели распространения

сигналов не работают. Вследствие этого для обработки получаемых сигналов необходимо использовать более сложные алгоритмы.

Дальнейшее повышение точности работы систем RTLS может быть достигнуто применением многоэлементных антенных решеток (Multi-element Antenna Array – МАА), позволяющих выполнять пространственную обработку сигналов с целью извлечения из нее дополнительной информации. Примером антенной решетки является МАА диапазона 2,4 ГГц, показанная на рис. 1. Эта антенная система изготовлена по технологии печатных плат на диэлектрической основе с многоугольными излучателями, что приводит к сужению ее диаграммы направленности и увеличению коэффициента усиления.



Рис. 1. Антенная система точки доступа

В основе идеи использования нескольких антенн при пространственном разнесении лежит явление многолучевого распространения сигнала, вследствие чего он доходит до приемной антенны (или антенн) в виде разных реплик, отражаясь на своем пути от препятствий в виде стен, потолков и мебели. Все полученные реплики имеют разные амплитуды, временные и фазовые задержки и другие искажения. Обработка в приемнике нескольких реплик сигнала дает ему больший объем информации, чем в технологиях, использующих одну антенну.

Практическая реализация МАА возможна с использованием двух схем расположения антенн: Angle of Arrival (AoA) и Angle of Departure (AoD). AoA и AoD – это разные методы достижения цели, которая заключается во взятии нескольких выборок сигнала для определения, откуда пришел сигнал.

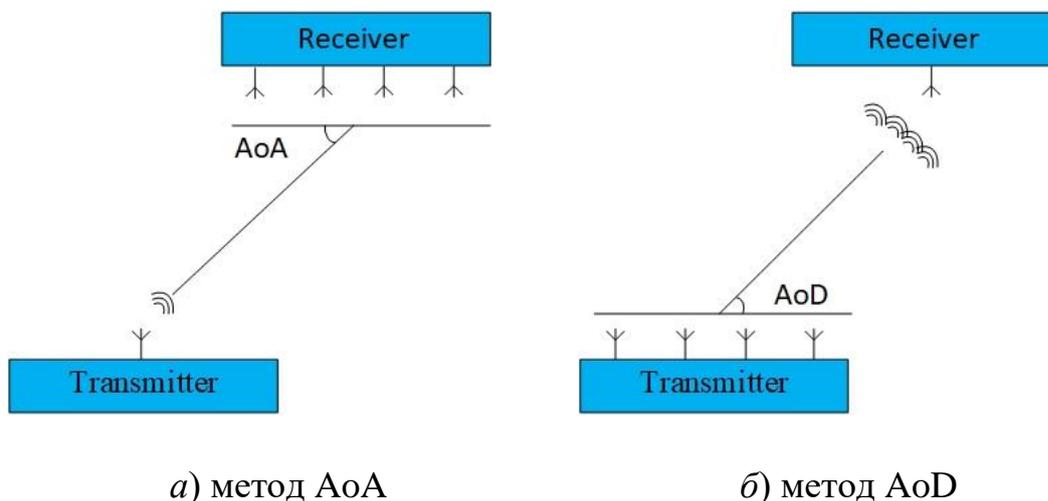


Рис. 2. Определение направления на объект методами AoA и AoD

В схеме угла прибытия (AoA) приемное устройство имеет антенную решетку, а измерения принятого сигнала, выполненные на разных антеннах, показывают разницу фаз из-за немного разных расстояний каждой из его антенн до единственной антенны в передающем устройстве (рис. 2,а).

В методе угла вылета (AoD) передающее устройство имеет антенную решетку. Приемное устройство имеет одну антенну, но владеет параметрами антенной решетки в передающем устройстве. Это позволяет ему делать аналогичные расчеты из фазовых измерений, сделанных на его единственной антенне (рис. 2,б).

Программные продукты, использующие технологии AoA и AoD, позволяют устанавливать местоположение объектов навигации со значительно большей точностью, чем та, которую потенциально могут обеспечить технологии на основе RSSI и трилатерации. Примером практической реализации AOA является технология Cisco CMX [7]. Учитывая полученные углы прихода и уровни сигналов от доступных AP, технология позволяет установить местоположение объекта, подключенного к сети Wi-Fi, с точностью до одного метра, что составляет очень хорошую величину для закрытых помещений.

Недостатком использования технологий AoA и AoD является относительная сложность их реализации, предполагающая наличие оптимизированных беспроводных микроконтроллеров,

способных выполнять скоростную обработку сигналов, приходящих от антенн Wi-Fi. Кроме того, требуется разработка приложений определением угла прихода (AoA) сигнала с использованием комбинаций программных методов.

Таким образом, применение МАА позволяет существенно повысить точность работы систем RTLS. Дальнейшее улучшение результатов может быть достигнуто либо увеличением числа элементов линейных МАА и применением многоэлементных антенных решеток более сложной конструкции, например, круговых. В этом случае в перспективе следует ожидать повышение точности установления объектов навигации в сети Wi-Fi до одной или нескольких длин волн, что частоте 2,4 ГГц соответствует 0,125 метра.

### *Список литературы*

1. Redkin Y. V. About connecting hard-to-reach objects to the local network by Wi-Fi bridge // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2021'AS) : Proceedings of the XXVI-th International Open Science Conference. Yelm : Science Book Publishing House, 2021. P. 143–148.
2. Куприянов А. О. Глобальные навигационные спутниковые системы. М. : МИИГАиК, 2017. 76 с.
3. Кружков Д. М., Пасынков В. В. Отечественная глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: особенности создания, развития и использования. М. : МАИ, 2022. 112 с.
4. Методы спутникового и наземного позиционирования. Перспективы развития технологий обработки сигналов / под ред. Д. Дардари, Э. Фалетти, М. Луизе. М. : Техносфера, 2012. 528 с.
5. Yunhao Liu, Zheng Yang. Location, Localization, and Localizability: Location-awareness Technology for Wireless Networks. 2nd ed. Springer, 2024. 214 p.
6. Системы локального позиционирования RTLS. URL: <https://nvgn.ru/blog/rtls-sistema-opredeleniya-mestopolozheniya-v-realnom-vremeni/> (дата обращения: 17.10.2024).
7. Cisco Connected Mobile Experiences Data Sheet. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/mobility-services-engine/datasheet-c78-734648.html> (дата обращения: 17.10.2024)

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ

Татьяна Анатольевна Коваленко<sup>1</sup>,  
Мария Александровна Марина<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия*

<sup>1</sup>t.kovalenko@psuti.ru

<sup>2</sup>m.marina@psuti.ru

**Аннотация.** Поиск информации в современном обществе является одной из наиболее существенных проблем. Уровень развития обуславливает непрерывный стремительный рост влияния компьютерных технологий на жизнь человека. Ежегодно объем информации в мире неуклонно растет. Это делает вопрос хранения и систематизации данных в условиях большого объема информации актуальным и в то же время сложным. Анализируются наиболее востребованные методы поиска информации.

**Ключевые слова:** компьютерное обучение, анализ данных, Интернет, избыток информации, машинное обучение, социальные сети

## ANALYSIS OF EXISTING INFORMATION SEARCH METHODS

Tatyana A. Kovalenko<sup>1</sup>, Maria A. Marina<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Volga State University of Telecommunications  
and Informatics, Samara, Russia*

<sup>1</sup>t.kovalenko@psuti.ru

<sup>2</sup>m.marina@psuti.ru

**Abstract.** Searching for information in modern society is one of the most significant problems. The level of development determines the continuous rapid growth of the influence of computer technology on human life. Every year, the volume of information in the world is steadily growing, this makes the issue of storing and systematizing data in conditions of a large amount of information relevant and at the same time complex. The article analyzes the most popular methods of searching for information.

**Keywords:** computer learning, data analysis, Internet, excess information, machine learning, social networks

Проблема переизбытка данных, известная как информационное перенасыщение или информационный шум, возникает из-за значительного объема информации, которая ежедневно создается, накапливается и распространяется в современном мире [1].

Основные аспекты, повлиявшие на появление проблемы переизбытка данных:

1. С развитием Интернет, социальных сетей и других средств передачи информации и взаимодействия людей количество данных, производимых и потребляемых обществом, экспоненциально возрастает.

2. Множество данных, используемых для решения задачи, часто являются устаревшими или просто бесполезными, что усложняет процесс извлечения полезной информации.

3. Обработка и анализ больших объемов данных требует привлечения современных вычислительных ресурсов и создания специализированных методов их анализа.

4. В условиях высокой избыточности информации становится трудно привлечь и удержать внимание пользователя. Очень часто, люди пребывают в состоянии информационной перегруженности, характеризующегося снижением внимания и понижением эффективности обработки новой информации;

5. Большой объем данных влечет за собой уязвимость информационных ресурсов в вопросах приватности и безопасности, а также к неизбежному росту их ценности для злоумышленников, что увеличивает риск утечек информации и совершения кибератак.

Решение проблемы переизбытка данных часто требует развития эффективных методов фильтрации, анализа и интерпретации информации, а также более осознанного использования технологий и информации в повседневной жизни. Активно развивающийся мир IT-технологий позволяет решить данные проблемы техническим путем с использованием больших вычислительных машин и применением технологий кластеризации, мейн-фреймов и других. Однако сохраняется постоянная необходимость в разработке и совершенствовании программного обеспечения, позволяющего эффективно обрабатывать и систематизировать большие объемы информации в максимально сжатые сроки.

В разных сферах жизни общества и научных исследований используется широкий спектр методов анализа данных, из которых наибольший интерес представляет метод машинного обучения.

Машинное обучение – область искусственного интеллекта, направленная на разработку алгоритмов, способных самостоятельно развиваться путем адаптации к поступающим новым данным [1]. Адаптация осуществляется путем извлечения компьютерами закономерностей из данных и построения прогнозов на их основе.

Широкое распространение методов машинного обучения обосновано возможностью автоматизации задач прогнозирования и принятия решений в условиях больших объемов информации. В процессе построения зависимостей между представленными для анализа данными, компьютерная сеть учится обобщать и систематизировать данные, строить логические цепочки и другие закономерности.

Алгоритмы машинного обучения способны распознавать естественную человеческую речь и графическое изображение символов, фильтровать спам, подобные алгоритмы лежат и в основе интеллектуальных поисковых систем. Исходя из количества, качества и характера получаемых данных, результаты интеллектуального анализа используются для формирования гибкой персонализированной системы рекомендаций на платформах YouTube, Google, eBay, Bing и других.

На практике выделяют следующие методы машинного обучения [3]:

1. Контролируемое обучение, предполагающее предоставление машине некоторых входных данных и наиболее предпочтительных выходных данных или меток. Цель такого обучения состоит в изучении общего правила, отображающего взаимосвязь между входными данными и результатом. Полученные знания машина применяет на практике повсеместно, к каждой последующей итерации обучения.

2. Неконтролируемое обучение, заключающееся в исключении выходных меток из процесса обучения. Интеллектуальная машина при этом должна самостоятельно обнаружить в данных структуру, выявить скрытые закономерности и паттерны. Такой метод обучения полезен при решении задачи обнаружения

неочевидных шаблонов в данных. Алгоритмы, обученные методом неконтролируемого обучения, способны формировать собственные выводы на основе получаемых ими наборов данных.

3. Обучение в действии, осуществляемое при взаимодействии интеллектуального программного обеспечения с динамично изменяющейся информационной средой, в которой необходимо решить определенную задачу.

4. Полууправляемое обучение, предполагающее присутствие субъекта «Учитель», который ставит перед машиной задачу, характеризуемую неполнотой входных данных и отсутствием заранее известных предпочитаемых выходных данных.

5. Глубокое обучение – область машинного обучения, опирающаяся на применение структурно сложных многослойных нейронных сетей. В отличие от предыдущих методов машинного обучения, использующих относительно простые однослойные нейронные сети, при глубоком обучении используются так называемые глубокие нейронные сети, имеющие большое количество слоев, что позволяет им проводить более полный анализ данных, основанный на иерархическом представлении информации. Первый слой нейронной сети, обрабатывает входные данные, каждый из последующих слоев глубокой нейронной сети обрабатывает информацию, полученную на предыдущем слое с учётом управляющих данных нейронной сети, и передает следующему слою. Такой процесс приводит к последовательному усложнению представления информации и созданию более сложных высокоуровневых признаков.

Глубокое машинное обучение активно применяется во многих сферах науки и общества:

1. В области компьютерного зрения глубокое обучение применяют для обучения систем распознаванию образов и обнаружению объектов в кадре, сегментированию изображения,

2. анализу и интерпретации визуальных данных, а также созданию иллюстраций по текстовому описанию или визуальному примеру.

3. В сфере обработки естественного языка, глубоко обученные нейронные сети позволяют эффективно распознавать и переводить речь в текстовое представление на разных языках, гене-

рировать, анализировать и изменять текст по требованию пользователя.

4. В сфере рекламы и маркетинга глубокое обучение позволяет создавать рекомендательные системы для прогнозирования пользовательских предпочтений и персонализации новостной ленты.

Стремительное развитие общества влечет за собой рост производимой и потребляемой человеком информации, которая становится все менее структурной и последовательной. В условиях работы малой группы ученых, поиск, систематизация и хранение информации становится трудновыполнимой задачей, что повышает интерес к методам автоматизированного интеллектуального распознавания естественной человеческой речи и систематизации полученной информации.

### *Список литературы*

1. Сексенбаев К., Султанова Б. К., Кисина М. К. Информационные технологии в развитии современного информационного общества // Молодой ученый. 2015. № 24 (104). С. 191–194.

2. Рубаков С. В. Современные методы анализа данных // Управление наукой и наукометрия. 2008. № 1. С. 166–174.

3. Мюллер А. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными. М. : Диалектика, 2017. 480 с.

4. Воронцов К. В. Лекции по искусственным нейронным сетям. 2007. 29 с.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс : учеб. для вузов. М. : Вильямс, 2018. 1104 с.

6. Коваленко Т. А. Перспективы применения гибридных систем в поиске информации // Проблемы и перспективы внедрения инновационных телекоммуникационных технологий : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. очно-заочной конф. Оренбург, 2022. С. 45–53.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ СБОРА ДАННЫХ С УСТРОЙСТВ BLUETOOTH LOW ENERGY В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ОТ WLAN

Юрий Викторович Редькин<sup>1</sup>,  
Анастасия Александровна Тюфанова<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Государственный морской университет  
имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

<sup>1</sup>redkin\_yura@mail.ru

<sup>2</sup>alina.34@mail.ru

**Аннотация.** Проанализированы особенности реализации систем сбора данных от датчиков с батарейным питанием на основе платформы Arduino и технологии Bluetooth Low Energy. Представлены результаты моделирования передачи пакетов данных по сети Bluetooth Low Energy в условиях помех от устройств WLAN IEEE 802.11b.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, технология Bluetooth, платформа Arduino, карта каналов, адаптивная скачкообразная перестройка частоты

## ENSURING DATA COLLECTION FROM BLUETOOTH LOW ENERGY DEVICES IN THE EVENT OF WLAN INTERFERENCE

Yuri V. Redkin<sup>1</sup>, Anastasia A. Tyufanova<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia*

<sup>1</sup>redkin\_yura@mail.ru

<sup>2</sup>alina.34@mail.ru

**Abstract.** The features of the implementation of data collection systems from battery-powered sensors based on the Arduino platform and Bluetooth Low Energy technology are analyzed. The results of modeling the transmission of data packets over the Bluetooth Low Energy network under interference from WLAN IEEE 802.11b devices are presented.

**Keywords:** wireless network, Bluetooth technology, Arduino platform, channel map, adaptive frequency hopping

В настоящее время беспроводные сети проникают во все уровни систем промышленной автоматизации. При этом верхний

уровень (уровень предприятия) и средние уровни (уровни цеха, участка) систем автоматизации используют сети WLAN (в основном, Wi-Fi), а нижние уровни – сети WPAN (семейство спецификаций 802.15.1-802.15.5 – ZigBee, Bluetooth, Wibree и другие). Так, технология ZigBee/IEEE 802.15.4 предназначена для создания сетевых соединений малого радиуса действия с заранее неопределенной архитектурой. Областью ее применения является передача данных от движущихся механизмов (конвейеров, роботов), датчиков систем охраны и автоматизации. Для устройств Интернета Вещей (IoT), использующих устройства и датчики с низким энергопотреблением, передающих небольшие блоки данных через значительные временные интервалы, предназначена технология Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE) [1].

При проведении диагностики и исследований режимов работы судового оборудования часто требуется организовать беспроводной сбор данных с датчиков для контроля разнообразных параметров, например, в машинном отделении: температуры, давления, влажности, вибрации, звука и других. Данная задача может быть решена с помощью обеих указанных технологий [2]. Однако Bluetooth LE позволяет применять датчики и узлы сети с батарейным питанием, что дает возможность реализовать мобильные сети с гибкой топологией. В качестве примера на рисунке 1 представлена сеть сбора данных, построенная на основе Bluetooth-устройств (Master), каждое из которых поддерживает связь со своей группой Bluetooth-датчиков (D) по схеме “точка-многоточка”, и передающих собранные данные на сервер (Server) по кабелю (рис. 1).

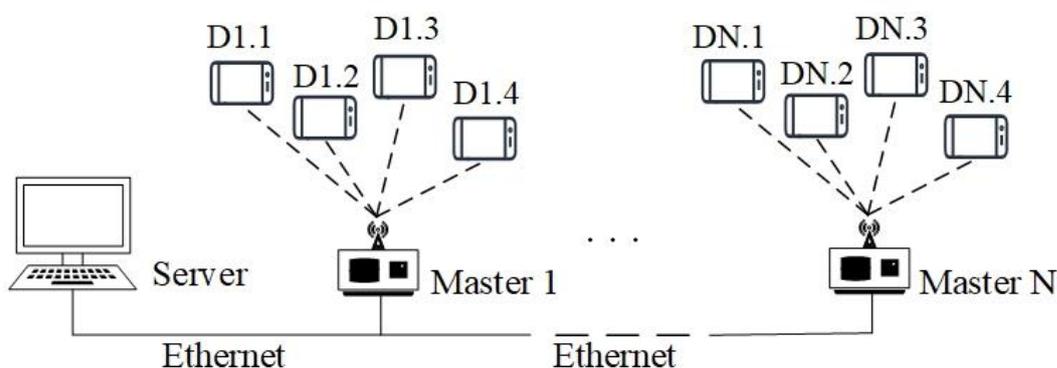


Рис. 1. Структура сети устройств Bluetooth LE

Сеть рис. 1 развернута на базе Arduino – платформы, в которой возможности базовой платы легко расширяются с помощью различных модулей (Shields) [3]. Данные модули обеспечивают сопряжение базовой платы с интеллектуальными периферийными устройствами, в частности, с модулями сетей Ethernet, Bluetooth и датчиков. В качестве базовых и периферийных узлов сети рисунка 1 удобно использовать Arduino Nano и Arduino IoT, имеющие встроенную поддержку Bluetooth LE [4] (рис. 2).

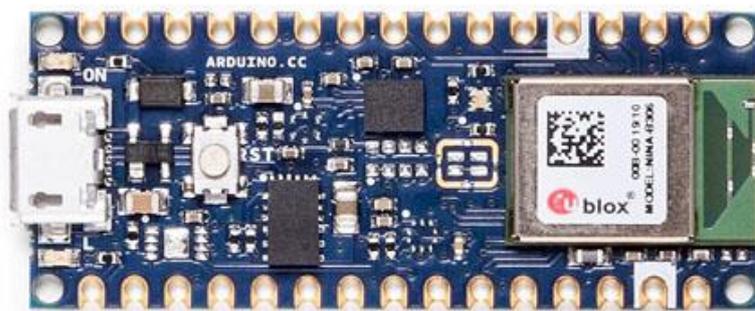


Рис. 2. Модуль Arduino Nano 33 BLE

Основной процессор модуля Arduino Nano 33 BLE поддерживает режимы сверхнизкого энергопотребления, что дает возможность использовать его совместно с Bluetooth-датчиками с малым энергопотреблением. Чипсет связи может выполнять роль как Bluetooth LE клиента, так и хост-устройства, что позволяет легко создать центральное или периферийное устройства.

Еще одним преимуществом применения платформы Arduino является наличие большого числа разнообразных Bluetooth-датчиков, предназначенных для измерения параметров технологических процессов [5] (рис. 3).

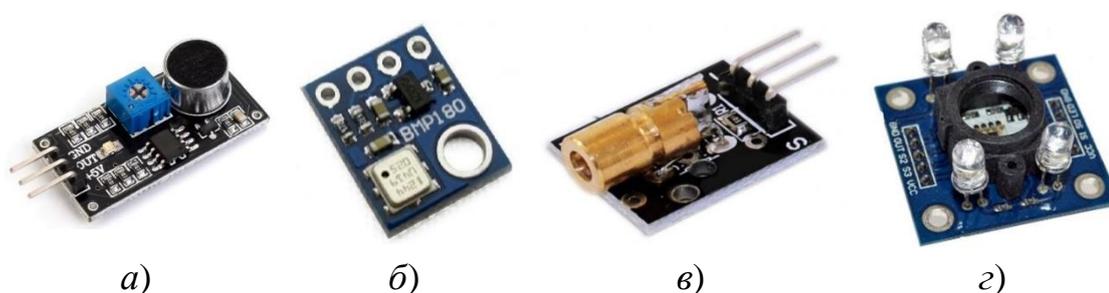


Рис. 3. Bluetooth-датчики вибрации (а), температуры (б), лазерный модуль (в) и модуль цвета (г)

Благодаря указанным преимуществам Arduino Nano 33 BLE позволяет достаточно быстро создавать разнообразные системы сбора и обработки данных. Кроме того, в современных системах автоматизации применяются сети WLAN и WPAN, использующие один и тот же частотный диапазон 2,4–2,5 ГГц, из-за чего возникает проблема совместимости этих сетей, которая приводит к снижению производительности их работы.

Данная проблема решается разными методами [6], но наиболее эффективным считается метод скачкообразной перестройки частоты FHSS, позволяющий сетям Wi-Fi и Bluetooth совместно использовать один и тот же диапазон частот. Его дальнейшим развитием является технология адаптивной скачкообразной перестройки частоты (Adaptive Frequency Hopping – AFH), суть которой заключается в том, что занятые или шумные каналы передачи отслеживаются и включаются в список неиспользуемых, тем самым обеспечивая адаптацию устройств Bluetooth LE к окружающей среде [7].

С целью получения количественной оценки эффективности работы технологии AFH с помощью пакета MATLAB было выполнено моделирование сети Bluetooth LE, на работу которой воздействуют помехи от устройств Wi-Fi. Моделируемая сеть Bluetooth LE состоит из одного центрального узла и одного периферийного узла, обменивающихся данными на физическом уровне LE1M PHY. Мешающая сеть WLAN состоит из двух узлов, работающих в стандарте IEEE 802.11b и создающих помехи в работе Bluetooth LE (рис. 4).

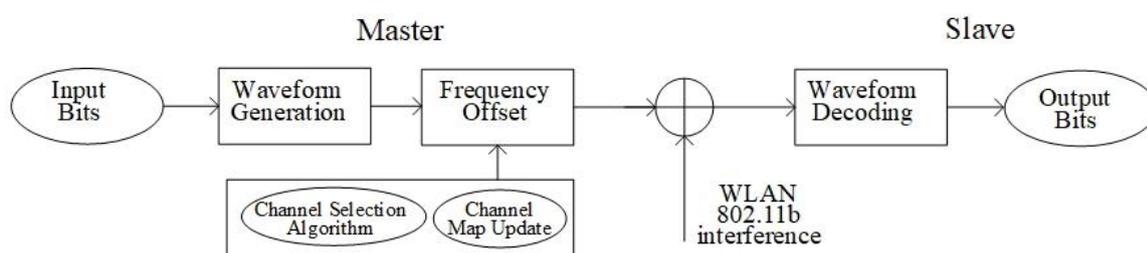


Рис. 4. Моделирование интерференции между сетями Bluetooth и WLAN

В модели рис. 4, устройства, работающие в стандарте IEEE 802.11b, создают помехи каналам 0-8 и 14-22 Bluetooth LE. Именно

на этих каналах вследствие интерференции чаще всего происходят потери пакетов в этой сети. Центральный узел периодически классифицирует каналы на “плохие” и “хорошие” на основе количества полученных и не прошедших пакетов, после чего обновляет карту каналов и передает ее на ведомое устройство. Полученная статистика представлена на рис. 5 в виде диаграмм коэффициента потери пакетов и пропускной способности после каждого обновления карты каналов для периферийного узла.

Как следует из рис. 5, при каждом обновлении карты за счет исключения зашумленных каналов происходит улучшение условий передачи: на 12 шаге потери падают с 0,35 до 0,21, а пропускная способность при этом возрастает со 120 Kbps до 150 Kbps.

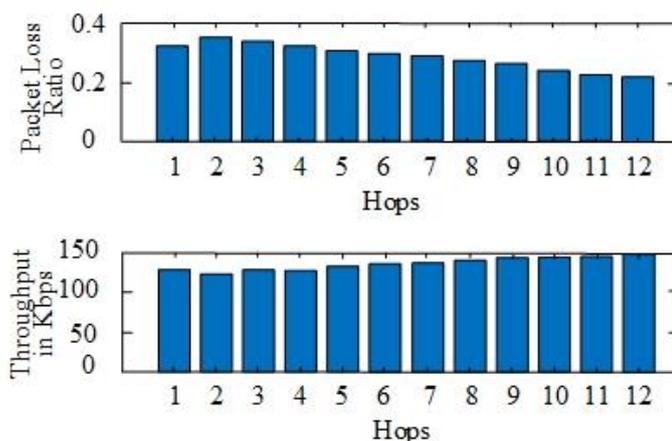


Рис. 5. Коэффициент потери пакетов и пропускная способность Bluetooth

Проведенное моделирование подтвердило, что количество потерянных пакетов уменьшается, а пропускная способность возрастает по сравнению с базовым механизмом FHSS, основанном на псевдослучайном выборе каналов передачи. Таким образом, технология AFH позволяет устройствам Bluetooth LE оперативно адаптироваться к окружающей среде в условиях помех от сетей Wi-Fi. Рассмотренная классификация каналов на “плохие” и “хорошие” на основе количества полученных и не прошедших пакетов является простейшим способом их разделения. Более сложные механизмы учитывают особенности передаваемого трафика (голос, данные), уровень принимаемого сигнала, механизмы кодирования и ряд других факторов.

### *Список литературы*

8. Bensky A. Short-range Wireless Communication. 3rd ed. Cambridge : Elsevier, 2019. 634 p.

9. Redkin Yu. V. Features of building wireless ship networks based on Zigbee // Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis (MIP-2023'AS) : Proceedings of the XXVIII-th International Open Science Conference, Yelm, WA, USA. Yelm : Science Book Publishing House LLC, 2023. P. 172–178.

10. Arduino Official Website. URL: <https://arduino.ru/> (дата обращения: 03.10.2024).

11. Arduino Nano 33 BLE. URL: [https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble?srltid=AfmBOooES8vK-moPrKVIv9240Y\\_m-DVIn2Ec6gUHifWT7UIQzZryDfbE](https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-33-ble?srltid=AfmBOooES8vK-moPrKVIv9240Y_m-DVIn2Ec6gUHifWT7UIQzZryDfbE) (дата обращения: 03.10.2024).

12. Модули и датчики для Arduino. URL: <https://arduinopro.ru/moduli-i-datchiki/> (дата обращения: 03.10.2024).

13. Прозоровский Е. Е., Редькин Ю. В., Ятченко В. А. Метод исправления ошибок в интеллектуальных информационных сетях систем телеметрии // Эксплуатация морского транспорта. 2024. № 1 (110). С. 150–157. doi: 10.34046/aumsuomtl10/23

14. Bluetooth Technology Website. URL: <https://www.bluetooth.com/> (дата обращения: 03.10.2024).

## 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

---

УДК 004

### METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN TELEPSYCHOLOGY

Svetlana Borojević<sup>1</sup>, Nikola Petrović<sup>2</sup>, Filip Đorđević<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,  
Bosnia and Hercegovina*

<sup>2,3</sup>*University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia*

<sup>1</sup>svetlana.borojevic@ff.unibl.org

<sup>2</sup>petrovicnikola@uns.ac.rs

**Abstract.** This review paper explores the methodology of experimental research in telepsychology, with a special emphasis on creating experiments for online data collection, as well as controlling the selection of respondents. In the context of the growing use of digital tools, the goal is to evaluate the effectiveness of methods in telepsychology in relation to traditional approaches. Ethical issues, which are particularly important in research in the field of cognitive neuroscience, are also considered. This paper provides a comprehensive framework for further improving the quality of research in psychology.

**Keywords:** telepsychology, experiments, methodology

### МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕЛЕПСИХОЛОГИИ

Светлана Бороевич<sup>1</sup>, Никола Петрович<sup>2</sup>,  
Филип Джорджевич<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Университет Баня-Лука, г. Баня-Лука, Республика Српска,  
Босния и Герцеговина*

<sup>2,3</sup>*Университет Нови Сад, г. Нови Сад, Сербия*

<sup>1</sup>svetlana.borojevic@ff.unibl.org

<sup>2</sup>petrovicnikola@uns.ac.rs

**Аннотация.** Рассматривается методология экспериментальных исследований в области телепсихологии с особым акцентом на проведении экспе-

риментов для сбора данных в режиме онлайн, а также на контроль отбора респондентов. В контексте растущего использования цифровых инструментов целью является оценка эффективности методов телепсихологии по отношению к традиционным подходам. Также рассматриваются этические вопросы, которые особенно важны в исследованиях в области когнитивной нейронауки. Представлена комплексная структура для дальнейшего повышения качества исследований в психологии.

**Ключевые слова:** телепсихология, эксперименты, методология

## **Introduction**

Telepsychology is term in psychology that is defined several years ago and refers to the use of telecommunication tools for providing psychological services [1, 2]. It can be considered as part of *telehealth*, whose primary function was the use of telecommunications to provide health information and care at a distance. In this way, mental health care became more accessible to the wider population [3]. This type of service may include tools such as applications for sending text messages or viewing video content. This type of service may include applications for sending text messages or viewing video content, as well as certain media such as discussion boards and e-mail. These media are considered asynchronous, which means that there is a time interval between transmission and reception of communication. On the other hand, there is also synchronous technology, which implies that communication takes place in real time. Such are video conferences or online chat [4]. However, telepsychology can also refer to another aspect of psychology – research, especially experimental research. Any form of conducting an online experiment can be seen as part of telepsychology because it is based on the use of software and internet platforms in data collection. This overview paper will present the specifics of the application of online experiments in the research of various psychological phenomena, as well as the potential for the development of telepsychology in the future.

## **Development of online experiments**

The development of online experiments was conditioned by the need to reach a large sample, to collect data faster, as well as to expand the research of various phenomena beyond geographical boundaries. Although they rely on the Internet, their implementation began many years after the Internet became available [5]. Researchers had a variety of ways to design experiments, from those that are based on programming libraries to those that are based on graphical experiment builders. In the beginning, the creation of such experiments was very limited, because it required the necessary level of technical ability, the

availability of personal devices and ways of storing data. Researchers had to know how to create web pages and upload stimuli (eg, images and videos), capture and transmit participant data, configure and maintain a server to host web pages and receive participant data, and store participant data in a database. Mostly static stimuli were used, while moving and interactive elements were difficult to load and led to errors in the experiment [5]. The High Resolution Time API began to appear in browsers in 2013 and allowed precise dynamic presentation of experimental trials and stimuli and recording reaction times. Further development aimed at obtaining reliable, similar and comparable results, because the results showed that the measured parameters in the experiments depend on the device and set-up [6]. Optimistic findings were offered by authors [7] who compared a wide range of online and offline experimental software across several different operating systems (Windows, Linux, and macOS) and web browsers (Chrome, Edge, Edge-Chromium, Firefox, and Safari). Their data show reaction time (RT) latency of 8–67 ms, precision of < 1 ms to 8 ms, visual lag of 0–2 frames, and variance below 10 ms for most combinations. Auditory lag is still worse, with average lag in the hundreds of milliseconds. In order to increase the reliability of measurements, it is necessary to improve the implementation, processing and transmission of auditory information in the future.

Although all of the above shows remarkable progress in the application of online experiments in psychological experiments, the development of new disciplines poses new challenges for researchers in terms of measurement accuracy. A relatively new branch of science, called cognitive neuroscience, pushes the boundaries of scientific knowledge, focusing not only on behavioral parameters in experiments, but also on physiological ones. This scientific field is focused on study of the biological basis of mental processes (perception, consciousness, action, memory, decision making, language, and selective attention) and mostly combines measurement of brain activity with a simultaneous performance of different tasks by human subjects [8]. So far, the application of EEG signals in clinical studies has been analyzed [9], but the future development of telepsychology should go in the direction of measuring all human bio signals in real time, without delay during the performance of experimental tasks.

### **Sampling and experimental control**

Although the application of engineering in psychology can improve the performance of online experiments and increase the precision of measurements, the cause of errors can be the research subjects. The

selection of subjects should therefore be well controlled by the researcher. The selection criteria can be the same as in ordinary (laboratory) experiments, because it has been shown that there is no difference between the participants regarding the level of attention and socially desirable responding in these two types of experiments [10]. If it is necessary that the participants of the experiment meet specific criteria, it is possible to make a preliminary assessment of their characteristics based on digital tools. Such tools allow customization and personalization of the assessment [11]. Recruitment of participants can also involve a direct approach where individuals are selected from the local community or local research organization, or that recruitment can be indirect via crowdsourcing platforms. Although online experiments inevitably lead to increased separation between researchers and their participants, it is recommended that explicit messages attempt to build a collaborative relationship by treating them as a valuable part of the research team. This will greatly affect the respondents' motivation and willingness to participate in the research [12].

### **Ethical issues**

As in all other researches, basic ethical principles must be respected in this one as well. Participants must be clearly informed about the nature of the study, its objectives, procedures and possible risks. Consent should be voluntary and may be withdrawn at any time. Participant data must be protected. Names and identifying information should be anonymized or encrypted to preserve participant privacy.

Researchers have a duty to minimize potential psychological or physical harm. Researchers should be open about their methods and results. This includes publishing the findings and allowing other researchers to replicate the study. When using online platforms, researchers should ensure that the tools are secure and do not violate data protection rules.

### **Conclusion**

Modern technology and the continuous development of digital tools and platforms represent a significant factor in future research, which enables a better understanding of psychological phenomena as well as information processing mechanisms.

### ***References***

1. Varker T., Brand R. M., Ward J. [et al.]. Efficacy of synchronous telepsychology interventions for people with anxiety, depression, posttraumatic

stress disorder, and adjustment disorder: A rapid evidence assessment // *Psychol. Serv.* 2019. № 16 (4). P. 621–635. doi: 10.1037/ser0000239.2018-24930-001

2. Sora B., Nieto R., Montesano Del Campo A., Armayones M. Acceptance and Use of Telepsychology From the Clients' Perspective: Questionnaire Study to Document Perceived Advantages and Barriers // *JMIR mental health.* 2021. № 8 (10). doi: 10.2196/22199

3. Nickelson D. W. Telehealth and the evolving health care system: Strategic opportunities for professional psychology // *Prof. Psychol. Res. Pract.* 1998. № 29. P. 527–535. doi: 0735-7028/98/S3.00

4. Grigsby W. J. Telehealth: An assessment of growth and distribution // *J. Rural Health.* 2002. № 18. P. 348–358.

5. Anwyl-Irvine A., Dalmaijer E. S., Hodges N. [et al.]. Realistic precision and accuracy of online experiment platforms, web browsers, and devices // *Behav. Res.* 2021. № 53. P. 1407–1425.

6. Pronk T., Wiers R. W., Molenkamp B., Murre J. Mental chronometry in the pocket? Timing accuracy of web applications on touchscreen and keyboard devices // *Behav. Res. Methods.* 2019. № 51 (5). P. 2158–2170. doi: 10.3758/s13428-019-01321-2

7. Bridges D., Pitiot A., MacAskill M. R., Peirce J. W. The timing megastudy: comparing a range of experiment generators, both lab-based and online // *Behav. Res. Methods.* 2020. № 52. doi: 10.3798/513428-019-01321-2.

8. Pereira A. Jr. What the cognitive neurosciences mean to me // *Mens Sana Monogr.* 2007. № 5 (1). P. 158–168. doi: 10.4103/0973-1229.32160

9. Mahmood S., Abbas M., Shawkat A., Nasih N. A telemedicine based on EEG signal compression and transmission // *Webology.* 2021. № 18. P. 894–913. doi: 10.14704/WEB/V18SI05/WEB18270

10. Clifford S., Jerit J. Is there a cost to convenience? An experimental comparison of data quality in laboratory and online studies // *J. Exp. Polit. Sci.* 2014. № 1. P. 120–131.

11. Petrović N., Borojević S. Efficiency and precision in psychological testing: an exploration of digital interactive psychology's automated assessment tool // *Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Пенза, 24–25 ноября 2023 г.). Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. С. 153–158.*

12. Rodd J. M. Moving experimental psychology online: how to obtain high quality data when we can't see our participants // *J. Mem. Lang.* 2024. № 134. doi: 10.1016/j.jml.2023.104472

## CONCEPTUAL DESIGN SOLUTION FOR AN APPLICATION FOR TESTING SELECTIVE ATTENTION

Filip Đorđević<sup>1</sup>, Svetlana Borojević<sup>2</sup>, Nikola Petrović<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>*University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia*

<sup>2</sup>*University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,  
Bosnia and Hercegovina*

<sup>2</sup>svetlana.borojevic@ff.unibl.org

<sup>3</sup>petrovicnikola@uns.ac.rs

**Abstract.** In this paper, we are proposing a conceptual solution on how to design and develop a phone application, that would provide a respondent with an environment to perform selective attention tests, and for the results to be sent to a (remote) examiner. The proposed application would act as a module of a telepsychology platform that would gather the respondent's answers and record their EEG measurements to be sent.

**Keywords:** telepsychology, wireless data transfer, real-time communication, electroencephalogram measurements, selective attention test, cognitive neurosciences, mobile application, human-computer interaction, ubiquitous and mobile computing

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДИЗАЙНА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ВНИМАНИЯ

Филип Джорджевич<sup>1</sup>, Светлана Бороевич<sup>2</sup>,  
Никола Петровић<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>*Университет Нови Сад, г. Нови Сад, Сербия*

<sup>2</sup>*Университет Баня-Лука, г. Баня-Лука, Република Српска,  
Боснија и Герцеговина*

<sup>2</sup>svetlana.borojevic@ff.unibl.org

<sup>3</sup>petrovicnikola@uns.ac.rs

**Аннотация.** Предлагается концептуальное решение для проектирования и разработки мобильного приложения, которое предоставит респонденту возможность выполнения тестов на избирательное внимание, а результаты будут отправляться удалённому экзаменатору. Данное приложение будет работать как модуль телепсихологической платформы, собирая ответы

респондента и записывая измерения его электроэнцефалограммы для отправки.

**Ключевые слова:** телепсихология, беспроводная передача данных, коммуникация в реальном времени, измерения электроэнцефалограммы, тест на избирательное внимание, когнитивные нейронауки, мобильное приложение, взаимодействие человека и компьютера, повсеместные и мобильные вычисления

## 1. Introduction

The goal of this research is to propose a concept design of a platform module that provides the respondent to perform the selective attention test remotely, and to send the results to either examiners or researchers. This conceptual solution adds to an ongoing PhD research, improving the computer platform containing a module used by both examiners and respondents. This way, the respondents could perform the test on their mobile phone. In the platform, telepsychology is applied as the subset of telemedicine, with real-time communication and wireless data transfer [1].

The selective attention test is used to examine the selective attention of the respondent when finding a conflict between the direction of the symbols displayed as a group and the symbol of interest in the group. Base case of the test places the symbol of interest is shown in the middle of the group. When the group is shown to the respondent, they need to perceive the direction of the symbol of interest and then communicate the noticed direction. The most common performance metrics that are registered are reaction time and accuracy in answering.

While the respondent performs the test, their EEG measurements are acquired. The application should be allowed to connect via Bluetooth to the EEG measuring device, to receive the measurements. These devices should be portable and also should allow movement. The ones that provide this capability are:

- *Emotiv Insight*: provides measuring on up to 5 channels (AF3, AF4, T7, T8, Pz), and sampling of 128 samples taken per second per channel.

- *Emotiv EPOC X*: provides measuring on up to 14 channels (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4), and sampling of 128 samples taken per second per channel.

The only constraint when measuring data this way is that there needs to be a medical expert present to help the respondent mount the device on their head.

Apart from the answers the respondent communicates, the proposed application would gather the moments in time when the respondent was presented with the group of symbols along with the direction of symbol of interest for that particular group. All of this data is sent to the examiner along with the EEG measurements data.

Different proposed solutions that provide responding to the selective attention test in mobile phone applications do so by asking their respondents to differentiate letters or renderings of images. When doing this, the respondents tap their screen to select one or more correct answers. The results are presented or calculated as concentration and total performance, number of hits and misses, time intervals between answers of each question and total time to complete the test. Together with respondent's personal information, all data is stored locally with an option to be sent to the remote examiner [2, 3].

## **2. Methodology**

As this would be an application module of a telepsychology platform, it should provide the interface for transferring data through the network (internet). This would be implemented by using *Transmission Control Protocol* (TCP) to achieve reliable and synchronized data transfer. Next to that, the application should bestow the respondent with an environment to complete the test, but also to process the test data, calculate the results, and display them.

Mobile phone is a device where the user interacts by using a pointer, in this case, a finger, to issue commands and call different functionalities. The proposed design provides the respondent with two different ways to interact with the test – by swiping in the direction of the symbol of interest, or by pressing the indicated areas on the screen that represent the direction of the symbol of interest.

The examiner would schedule the test by sending the test information – date and time for conducting the test, test duration, if the testing is conducted with or without gathering EEG, symbols used in the test, size of symbol group and position of the symbol of interest inside the group. If the test is performed with gathering of EEG measurements, the EEG channel names to measure would be sent as well.

The application itself would be organized in four views. Each one, barring the Test view, is proposed with following organization: a data bar placed on top of the screen, displaying respondent user data along

with the paired EEG measuring device, and its status (powered on, battery life). On the bottom, the navigation menu to change between views is placed. If the EEG measuring device is not connected with the app, the top data bar would show warnings and provide the user with the possibility to pair with the device.

### Home view

This view would show scheduled tests, where each is shown with the Test ID, scheduled date and time, test duration and if the test requires the respondent's EEG values to be measured. Each test box has a button to start the test. If the test's scheduled time comes, the button would be enabled, otherwise it will not be. If the respondent attempts to perform a test which requires EEG measuring, and the EEG device is not paired, an error message would be shown. Proposed design of this view is displayed in fig. 1.

### Test view

This view is the only one with no navigation or data bars, so that the user is not disturbed. It would start with a darkened view that shows the countdown to the test start and further test information. Here, the respondent could change their chosen interaction, if it is not set according to their preference or if for that specific test, they want to try a different interaction technique. After the countdown reaches zero, the grid of symbol should be shown (new after each answer). If the chosen interaction is pressing the specific areas, they would be shown on the four edges of the screen. Proposed design of this view is displayed in fig. 2.

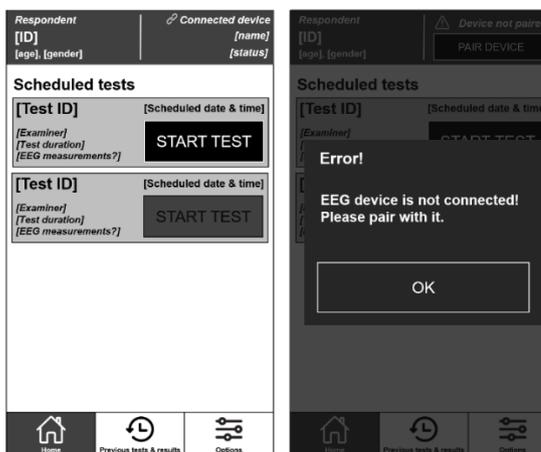


Fig. 1. Proposed design of the Home view

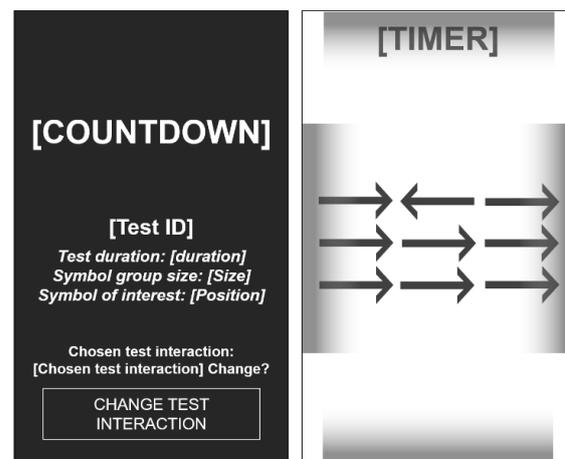


Fig. 2. Proposed design of the Test view

### Previous tests and results view

In this view, the respondent could look at their previous test results and examiner’s comments about the results. Another option, is to retake the same test again, in order for the examiner not to set up the whole test if it should be the same. Again, if the device is not connected, the appropriate error message would be shown to the respondent. Proposed design of this view is displayed in fig. 3.

### Options view

In this view, the respondent could choose their preferred interaction (swiping or pressing the indicated direction area), and also input their user data: ID, age and choose their gender. The user can save their data or go back, not saving the new values. If the fields are left blank, an error message will be shown to notify the respondent that they have to fill the fields in this form. If they opt to go back, the respondent will have to confirm that they actually want to go back and not save the changed values in the form. Proposed design of this view is displayed in fig. 4.

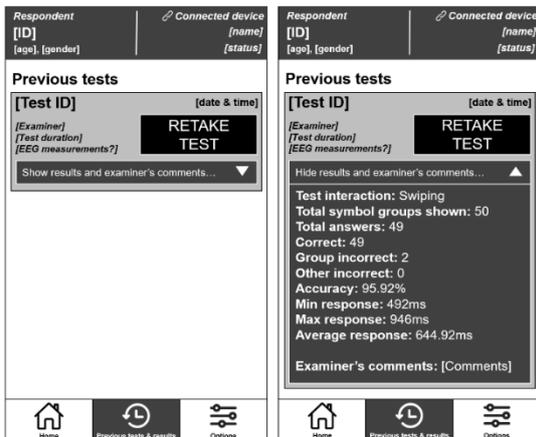


Fig. 3. Proposed design of the Previous tests and results view

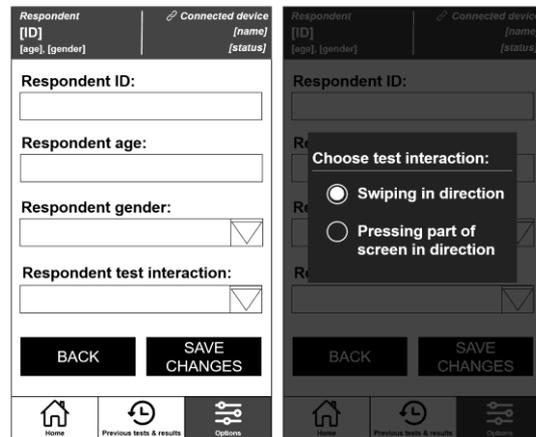


Fig. 4. Proposed design of the Options view

Taking into account that the examiner application works as described, the communication and basic functionalities of both modules are displayed in fig. 5.

As test time elapses, the proposed application could send the calculated results to the examiner’s application. The examiner could then compare the results and the received EEG data, and comment on the respondent’s performance. Comments could be sent back and shown in the application.

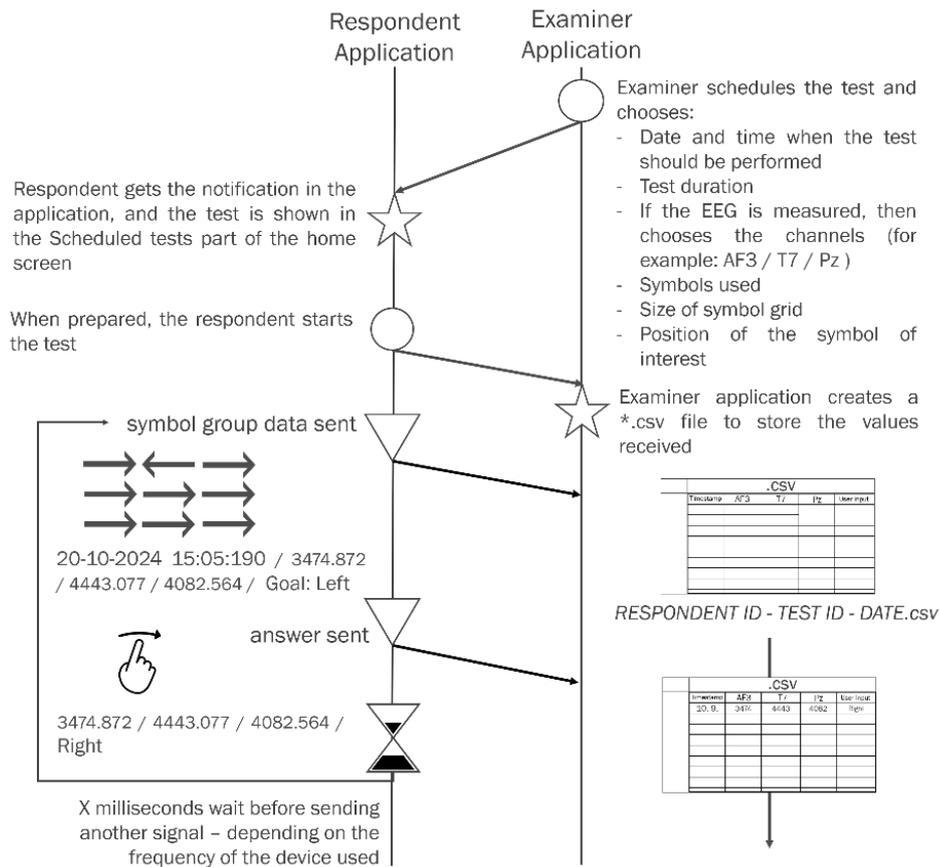


Fig. 5. Communication flow between the proposed respondent application and the rest of the platform modules

### 3. Results and discussion

In order to follow our current PhD research and be consistent with our chosen technology, this application could be implemented by using the *.NET Multi-platform App UI* (.NET MAUI). This is a cross-platform framework that uses C# programming language and *Extensible Application Markup Language* (XAML) declarative language to create a native mobile application [4]. It comes as an evolution of currently no-longer supported *Xamarin.Forms* framework.

With this being just a concept and design proposition, it can be evaluated by different software design heuristics and models for interaction efficiency. *Touch-level model* (TLM) could be used to calculate the interaction efficiency [5], as an updated variant of the *Keystroke-level model* (KLM) that is specifically designed for interaction with touch-screen applications. The interaction efficiency when performing the test is compared to other already proposed solutions, and the calculated solutions are shown in the table below.

Table 1

**Projected interaction time values according to KLM/TLM operators:**  
***Mental Preparation*** = the user looking for a feature on the screen (1.35 seconds), ***Tap*** = tapping the phone screen (0.2–0.3 seconds), ***Swipe*** = moving a finger across the screen (0.3–1 second, depending on the length of the swipe)

Solution	KLM/TLM operators	Projected time
Already proposed solutions	Mental Preparation + N*Tap, <i>N is the number of correct answers</i>	$1.35 + N*0.2$
Our solution – swiping	Mental Preparation + Swipe <i>user looks for the direction of the symbol of interest</i>	$1.35 + 0.3$
Our solution – tapping areas	2*Mental Preparation + Tap <i>inexperienced user looks for the direction of the symbol of interest, and then the indicated area to tap</i>	$2.7 + 0.2$
	Mental Preparation + Tap	$1.35 + 0.2$

If the user needs to find two separate features on the screen (), this would generally be considered as two mental preparations, as it involves two separate search steps. On the other hand, if the features are close to each other and the entire process is already in the user's muscle memory and they have prior knowledge of where everything is, they can perform the task more quickly and efficiently – they need less time for mental preparation (only one, or maybe one and a half).

As for the mobile phone interface design, it should have a user-centered approach [6]. Following presented guidelines, the interface should be easy to use, with clear navigation and organized content, with a consistent visual design. The user should have control over the interface, with a possibility to customize the layout or colors. Clear font style is important in order for all the text shown in the interface to be read easier. Another important design guideline is to provide concise feedback and always provide the user with a clear solution for each error that is produced.

Almost all of the guidelines are followed, with the only one lacking in our proposed design solution is the way for the user to customize the visual elements of the interface, although the user can choose their preferred interaction technique. This can easily be added to the *Options* view, with the option to change the language of the interface.

## *References*

1. Bashshur R. L., Shannon G. W., Krupinski E. A., Grigsby J. The taxonomy of telemedicine // *Telemedicine journal and e-health*. 2011. Vol. 17 (6). P. 484–494.
2. Astudillo-Rodriguez C., Ortega-Chasi P., Cobos M. [et al.]. Design and Implementation of a Selective Attention Computerized Test // *Proceedings of the 7th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Orlando, 2022. P. 1413–1422.
3. Pahor A. [et al.]. UCancellation: A new mobile measure of selective attention and concentration // *Behavior research methods*. 2022. Vol. 54, № 5. P. 2602–2617.
4. What is .NET MAUI?. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-8.0> (accessed October 20, 2024).
5. Rice A. D., Lartigue J. W. Touch-level model (TLM): evolving KLM-GOMS for touchscreen and mobile devices // *Proceedings of the 2014 ACM Southeast Regional Conference*. doi: 10/1145/2638404.2638532
6. Ayada W. M., Hammad M. A. Design quality criteria for smartphone applications interface and its impact on user experience and usability // *International Design Journal*. 2023. Vol. 13, № 4. P. 339–354.

УДК 004.9

## **CALORIE BURN PREDICTION DURING WORKOUTS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE STUDY OF ENSEMBLE MODELS**

**Prince Jain<sup>1</sup>, Divyanshu Dubey<sup>2</sup>, Atharv Gehlot<sup>3</sup>,  
Anand Joshi<sup>4</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup>Parul University, Vadodara, Gujarat, India*

<sup>1</sup>princeece48@gmail.com

**Abstract.** This study uses machine learning models to predict calories burned during workout sessions based on a dataset with demographic, physical, and workout-related features, such as age, gender, weight, height, BMI, body fat percentage, heart rate metrics, session duration, workout type, water intake, and experience level. The objective is to model and predict calories burned, offering

insights into factors influencing energy expenditure. Four models—Linear Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost—were compared using  $R^2$ , Mean Squared Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), and Root Mean Squared Error (RMSE) under 5-fold and 10-fold cross-validation. Gradient Boosting and XGBoost demonstrated the highest  $R^2$  of 0.9953, indicating superior predictive accuracy and generalizability, effectively capturing non-linear relationships and reducing errors. These findings provide valuable insights for fitness tracking and personalized health monitoring systems.

**Keywords:** calorie prediction, machine learning, ensemble models, fitness tracking

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЖИГАНИЯ КАЛОРИЙ ВО ВРЕМЯ ТРЕНИРОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Принц Джейн<sup>1</sup>, Дивьяншу Дубей<sup>2</sup>, Атхарв Гехлот<sup>3</sup>,  
Ананд Джоши<sup>4</sup>

*<sup>1,2,3,4</sup>Университет Парул, г. Вадодара, штат Гуджарат, Индия*

<sup>1</sup>princeese48@gmail.com

**Аннотация.** В исследовании используются модели машинного обучения для прогнозирования количества сожженных калорий во время тренировок на основе набора данных с демографическими, физическими и связанными с тренировками характеристиками, такими как возраст, пол, вес, рост, индекс массы тела, процент жира в организме, показатели частоты сердечных сокращений, продолжительность сеанса, тип тренировки, потребление воды и уровень опыта. Цель исследования состоит в том, чтобы смоделировать и спрогнозировать количество сожженных калорий с учетом факторов, влияющих на расход энергии. Четыре модели – линейная регрессия, случайный лес, градиентное усиление и XGBoost – сравнивались с использованием  $R^2$ , среднеквадратической ошибки, средней абсолютной ошибки и среднеквадратической ошибки при 5-кратной и 10-кратной перекрестной проверке. Градиентное усиление и XGBoost продемонстрировали наивысшее значение  $R^2$  – 0,9953, что указывает на превосходную точность прогнозирования и обобщаемость, эффективность фиксирования нелинейных связей и сокращение ошибок. Эти результаты дают ценную информацию для отслеживания сожженных во время фитнеса калорий с помощью персонализированных систем мониторинга здоровья.

**Ключевые слова:** прогнозирование калорий, машинное обучение, ансамблевые модели, отслеживание фитнеса

## **Introduction**

Accurately predicting calories burned during physical exercise is essential for personalized fitness tracking, health monitoring, and achieving individual fitness goals. Caloric expenditure provides valuable feedback for optimizing workout routines and managing overall health. With the growing popularity of wearable devices and fitness applications, there is increasing demand for reliable models that can estimate calories burned based on diverse physical and physiological attributes [1]. Traditional methods often rely on simple formulas or empirical equations, which fail to capture complex relationships between various factors influencing energy expenditure. This highlights the potential of machine learning (ML) techniques, which can model intricate, non-linear interactions between multiple features. ML methods offer significant advantages by integrating numerous variables, enabling more precise and personalized predictions. Ensemble learning techniques like Random Forest (RF), Gradient Boosting, and XGBoost are particularly effective in capturing complex interactions and improving accuracy by combining multiple base learners to reduce errors [2]. Simpler models, such as Linear Regression, can provide a baseline for comparison, offering insights into linear relationships within the data. By employing these techniques, it is possible to move beyond traditional calorie estimation methods and achieve greater accuracy in predicting energy expenditure during various types of workouts. This study aims to compare the performance of different machine learning models in predicting calories burned, emphasizing the effectiveness of ensemble methods in capturing non-linear interactions. The findings provide valuable insights for developing personalized fitness applications and health monitoring systems that offer accurate and actionable feedback to users.

## **Dataset Description**

The dataset includes features collected from individuals during workout sessions, encompassing demographic information such as age and gender, and physical attributes like weight, height, Body Mass Index (BMI), and body fat percentage [3]. Key workout-related metrics include maximum heart rate (Max\_BPM), average heart rate (Avg\_BPM), resting heart rate (Resting\_BPM), and session duration. Additionally, the dataset captures the type of workout (e.g., Cardio, HIIT, Strength, Yoga), water intake, workout frequency, and experience level. The primary objective is to predict calories burned during

a workout session, serving as the target variable. By leveraging these features, the dataset models the factors contributing to calorie expenditure across different workout types.

### **Machine Learning Methods**

Four machine learning models—Linear Regression, RF, Gradient Boosting, and XGBoost—are explored to assess their predictive capabilities. Linear Regression serves as a benchmark model to understand linear relationships, while RF model, Gradient Boosting, and XGBoost are ensemble-based methods designed to capture non-linear patterns and interactions. Random Forest builds multiple decision trees and aggregates their predictions to improve accuracy and reduce overfitting. Gradient Boosting sequentially builds models, with each new model correcting errors from previous iterations, enhancing overall accuracy. XGBoost, an optimized version of Gradient Boosting, incorporates advanced regularization techniques and parallel processing capabilities for efficient handling of complex data. The models are evaluated using several performance metrics: R-squared measures the proportion of variance explained by the model; MSE quantifies the average squared difference between predicted and actual values; MAE calculates the average absolute difference; and RMSE expresses error in the same units as the target variable. To ensure robustness, 5-fold and 10-fold cross-validation are employed, dividing the dataset into subsets (“folds”) to train and validate the models multiple times. This comprehensive evaluation identifies the most reliable model for predicting caloric expenditure and emphasizes the importance of advanced ML techniques in personalized fitness applications [4].

### **Results and Discussions**

Figure 1 presents these performance metrics for each model under both 5-fold and 10-fold cross-validation. Comparing these metrics helps in understanding the consistency and robustness of the models across different validation strategies. Typically, increasing the number of folds, as in 10-fold cross-validation, reduces the variance of the performance estimate and provides a more reliable measure of the model’s ability to generalize to new data. The comprehensive comparison shows that Gradient Boosting achieves the highest  $R^2$  value of 0.9953, the lowest MSE of 390.33, the lowest MAE of 13.72, and the lowest RMSE of 19.75 under 10-fold cross-validation. XGBoost closely follows, with its best  $R^2$  value also at 0.9953 and an RMSE of 33.19. These results indicate that Gradient Boosting and XGBoost consistently outperform the other models in all metrics, making them the most reliable choices for

practical applications that require accurate calorie predictions. This comparison aids in selecting the most suitable model based on its predictive accuracy and error characteristics.

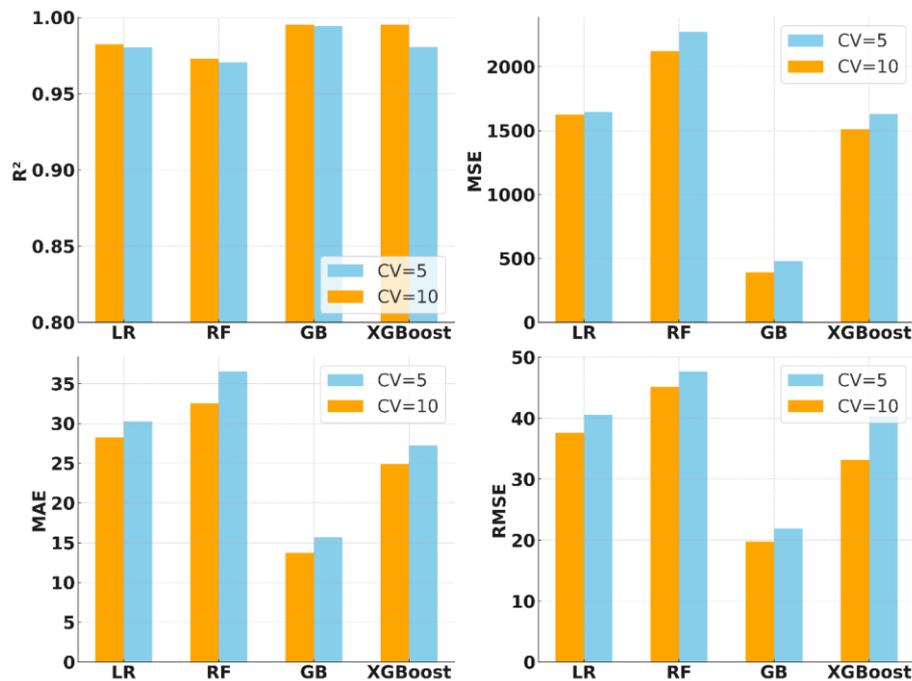


Fig. 1. Comparative analysis of different ML model performance using R2, MSE, MAE, and RMSE with 5-fold and 10-fold cross-validation

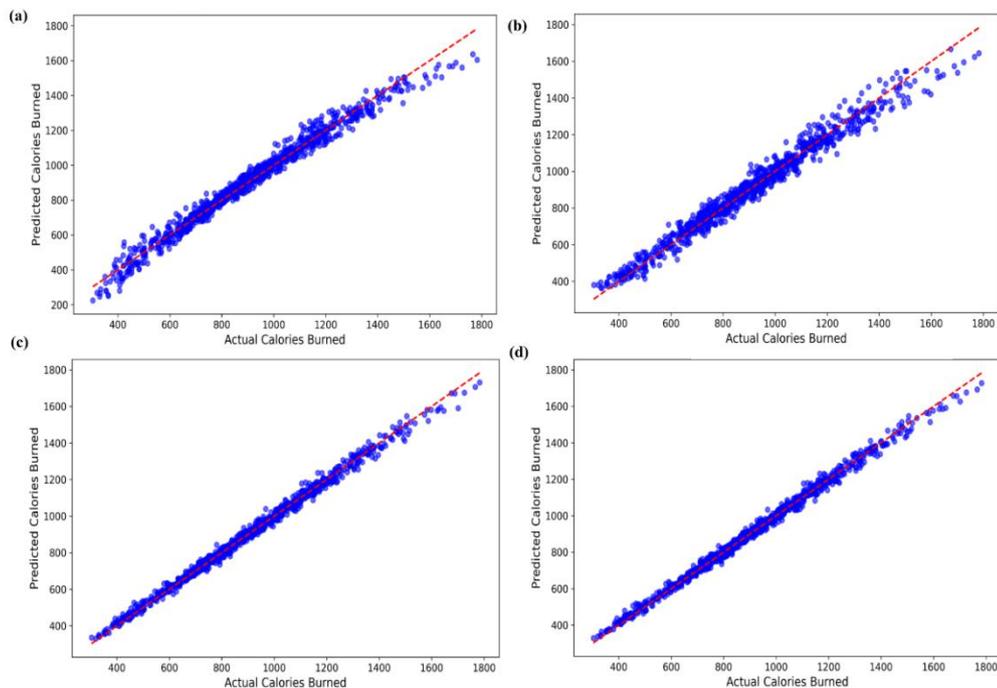


Fig. 2. Predicted vs. actual calories burned comparison for different machine learning models. (a) Linear Regression, (b) Random Forest, (c) Gradient Boosting, and (d) XGBoost

Figure 2 shows the relationship between predicted and actual values of calories burned using four machine learning models: LR, RF, GB, and XGBoost. Each subplot compares predicted values (y-axis) with actual values (x-axis) using a red dashed line to indicate the ideal scenario where predictions perfectly match actual values. In subplot (a), Linear Regression attempts to establish a linear relationship but shows a wider dispersion of points around the ideal line, indicating limitations in capturing complex patterns. In contrast, RF (b) combines multiple decision trees to better capture non-linear relationships, resulting in tighter clustering around the ideal line. Gradient Boosting (c) iteratively corrects errors, further improving accuracy and alignment with actual values. XGBoost (d), an optimized version of Gradient Boosting, demonstrates a dense cluster of points along the ideal line, highlighting its superior accuracy. This comparison emphasizes the effectiveness of ensemble models like Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost in achieving higher predictive accuracy and capturing complex relationships compared to simpler models like Linear Regression. Accurate calorie prediction is crucial for fitness tracking and health monitoring applications, where tighter clustering around the ideal line indicates lower errors and better model performance.

### **Conclusion:**

This study demonstrated the effectiveness of machine learning models, particularly ensemble-based methods, in predicting calories burned during workouts. While Linear Regression provided a basic benchmark, ensemble models like Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost significantly outperformed it in terms of accuracy and error reduction, with XGBoost emerging as the most reliable. These findings highlight the value of advanced ML techniques for precise calorie estimation. Future work could explore additional factors such as diet and daily activities to further improve predictions. This study offers valuable insights for developing personalized fitness and health monitoring systems through accurate calorie tracking.

### ***References***

1. Sheng A. T. J., Embi Z. C., Hashim N. Comparison of Machine Learning Methods for Calories Burn Prediction // Journal of Informatics and Web Engineering. 2024. № 3 (1). P. 182–191.
2. Jain P., Joshi U., Joshi A. [et al.]. Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Predicting Wear and Friction Properties of

MWCNT Reinforced PMMA Nanocomposites // Ain Shams Engineering Journal. 2024. doi: 10.1016/j.asej.2024.102895

3. Gym members exercise dataset // Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/valakhorasani/gym-members-exercise-dataset>

4. Jain P., Thakor S., Joshi A. Machine Learning-Driven Analysis of Dielectric Response in Polymethyl Methacrylate Nanocomposites Reinforced with Multi-Walled Carbon Nanotubes // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 2024. № 35 (20). P. 1419.

УДК 004.9

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS IN MODERN HEALTHCARE

**Rajasvaran Logeswaran**

*HELP University, Kuala Lumpur, Malaysia*

loges@ieee.org

**Abstract.** The integration of Artificial Intelligence (AI) and robotics in modern healthcare has revolutionized medical practices by enhancing diagnostic accuracy, streamlining administrative tasks, and improving patient outcomes. This paper explores the definitions, motivations, applications, and barriers associated with AI and robotics in healthcare. By examining current uses and future potential, the paper aims to provide an overview for researchers, professionals, and academics interested in the technological advancements within the healthcare sector.

**Keywords:** computer-aided diagnosis, computer-aided medicine, AI doctor, medical robots

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И РОБОТОТЕХНИКА В СОВРЕМЕННОМ ЗДРАВООХРАНЕНИИ

**Раджасваран Логесваран**

*Университет HELP, г. Куала-Лумпур, Малайзия*

loges@ieee.org

**Аннотация.** Интеграция искусственного интеллекта и робототехники в современное здравоохранение привела к революционным изменениям в медицинских практиках за счет повышения точности диагностики, упрощения административных задач и улучшения результатов лечения пациентов. Рассматриваются определения, мотивации, приложения и барьеры, связанные с искусственным интеллектом и робототехникой в здравоохранении.

На основе изучения текущего состояния и будущего потенциала представляется их всесторонний обзор для исследователей, специалистов и представителей академического сообщества, заинтересованных в технологических достижениях в области здравоохранения.

**Ключевые слова:** компьютерная диагностика, компьютерная медицина, доктор с искусственным интеллектом, медицинские роботы

## **Introduction**

Artificial Intelligence (AI) and robotics are transforming healthcare delivery through advanced diagnostic tools, automated systems, and enhanced treatment methodologies. AI, defined as the capability of a machine to imitate intelligent human behavior [1], and robotics, the branch of technology involving the design and use of robots [2], are being increasingly utilized to perform tasks traditionally done by humans. The origins of computer-aided diagnosis (CAD) can be traced to 1963 [3] but has now come a long way with the tremendous growth of AI. AI-based CAD can provide many benefits, especially in terms of [4]:

- a) better qualitative interpretation of images that may otherwise be influenced by low image quality, visual fatigue, distraction, overlapping structures, etc., via computer vision tools (e.g. enhancement, segmentation, feature extraction, etc.)
- b) second opinion for medical decisions and treatment plans
- c) as a training and evaluation tool of medical practitioners
- d) automatically quantifying the attributes for classification (normal, abnormal)
- e) automatic labelling (e.g. different anatomical features, organs, anomalies, etc.)
- f) automatic measurement (e.g. volume, size, length) of regions of interest (ROI)
- g) overcome the global shortage of radiologist, particularly useful for initial screening without the need for the physical presence of the medical professional
- h) enhance productivity (e.g. via smart alerts to the ROI, faster access to patient medical records across multiple institutions and examinations, comparison of similar cases, drafting of medical reports or part thereof, etc.)
- i) better patient outcomes (average error rate for radiologists for unselected cases is 4 %, average retrospective error rate of radiologists is 30 %).

## Types of AI and Robotics in Healthcare

AI in healthcare encompasses several technologies, including machine learning (ML), natural language processing (NLP), and robotic process automation (RPA) [5]. AI is trained using medical data to create predictive models that categorize information or results. Language models (NLP) can interpret medical records and conduct some research, while RPA helps automate administrative and clinical workflows in healthcare, increasing overall efficiency.

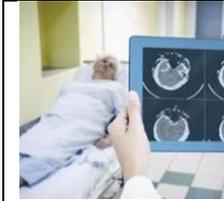
Robotics in healthcare involves the use of robots for tasks such as surgery, medical training, drug development, and rehabilitation. For example, robotic surgery can improve the accuracy of operations and reduce recovery time. Robots in rehabilitation can help restore patients' functions and improve their independence.

### Healthcare Applications of AI

The applications of AI in healthcare are quite diverse and extensive, they include medical image analysis for diagnosis, development of personalized treatment plans for specific patients, prediction of disease progression, and automation of administrative tasks, as shown in table 1. Computer-aided diagnostics (CAD) systems using AI methods help radiologists interpret medical images, reduce human errors, and provide second opinions in particular.

Table 1

Examples of applications of AI in healthcare

 Brain [6]	 Chest [7]	 Breast [8]	  Treatment planning [9],[10]
 Pediatrics [11]	 Multi-diagnosis [12]	 Medical training [13]	 Hospital patient experience / patient flow [14]

In radiology, the use of AI methods can improve diagnostic accuracy, reduce the period before intervention by tracking the progression of the disease over time. Machine learning models have been shown to achieve accuracy of up to 91 % in detecting precancerous lesions,

compared to 69 % for examinations performed by physicians and 71 % for traditional laboratory diagnostics [11]. AI is also used for medical analytics based on historical data. This provides information that optimizes the results for maintaining health. Modern medicine is moving towards a personalized approach. AI is used to create personalized treatment plans based on a person’s individual medical history, lifestyle, and genetic data. In addition, AI-based technologies are widely used in interpreting various medical tests, diagnosing diseases, and predicting a patient’s future health [5]. A mobile smartphone application using machine learning outperformed experienced dermatologists in distinguishing potentially cancerous skin lesions from benign ones (Annals of Oncology) [11].

### Healthcare Applications of Robotics

The use of various types of robots in healthcare enables surgical interventions, patient care activities, maintenance of sanitary conditions of premises, pharmaceuticals, and telemedicine (see table 2). Surgical robots provide better dexterity, visualization during operations, and reduce the workload of surgeons. Robots involved in patient care remind patients of medical events, help with daily activities, and keep them company. In sanitation, robots ensure sterile environments by automating disinfecting processes and waste disposal. In pharmaceuticals, robots contribute to the safe development and testing of drugs, as well as the automatic dispensing and delivery of medications. Rehabilitation robots assist patients in regaining mobility and independence. Telemedicine utilizes robots for remote consultations, medication administration, and collaborative diagnoses.

Table 2

Example uses of robotics in healthcare



## **Barriers to AI and Robotics in Healthcare**

Despite the benefits, several barriers hinder their widespread adoption in healthcare. Resistance from some healthcare professionals who perceive these as threats to their roles, skepticism due to the "black box" nature of AI algorithms, and regulatory hurdles are significant challenges. Additionally, there are concerns about data privacy, potential physical and mental harm, and legal implications. Current AI solutions often address specific use cases rather than offering comprehensive toolkits needed by radiologists to detect a wide range of conditions. Overcoming these barriers requires addressing ethical, regulatory, and technical issues to ensure the safe and effective integration of AI and robotics in healthcare.

### **Conclusion**

AI and robotics hold the promise of revolutionizing healthcare by enhancing diagnostic accuracy, streamlining processes, and improving patient outcomes. Their applications in medical diagnostics, treatment planning, patient care, and administrative tasks demonstrate significant benefits and will grow significantly (forecasted at \$208.2 billion in 2030 vs. 2022 market size value of \$15.4 billion) [14]. However, widespread adoption is contingent upon overcoming barriers related to professional acceptance, regulatory approval, and ethical concerns. As AI and robotics continue to evolve, they are expected to play an increasingly vital role in the future of healthcare, driving innovations and improving the quality of care. There will be more robot-assisted surgeries, virtual nursing assistants, fraud detection, dosage error reduction, connected machines, precision healthcare via smart watches / mobile phone, analytics non-invasive diagnosis and much more.

### ***References***

1. Artificial Intelligence (AI) // Encyclopædia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
2. Robotics // Oxford Dictionary. URL: <https://www.oxfordlearners-dictionaries.com/definition/english/robotics>
3. Lodwick G. S. Computer-aided diagnosis in radiology: A research plan // *Investigative Radiology*. 1963. Vol. 1, № 1. P. 72–80.
4. Need for AI in Radiology // Signify Research. URL: <https://www.signifyresearch.net>
5. AI in Health Care: Applications, Benefits, and Examples // Coursera. URL: <https://www.coursera.org/articles/ai-in-health-care>

6. MaxQ AI receives FDA clearance for Accipio Ix intracranial hemorrhage platform // Imaging Technology News. 2018. 7 Nov. URL: <https://www.itnonline.com>
7. Siemens Healthineer debuts AI-Rad companion chest CT // Imaging Technology News. 2019. 25 Jan. URL: <https://www.itnonline.com>
8. Artificial Intelligence achieves near-human performance in diagnosing breast cancer // Imaging Technology News. 2016. 28 June. URL: <https://www.itnonline.com>
9. Philips collaborates with MIM Software on Radiation Therapy treatment planning // Imaging Technology News. 2019. 31 Jan. URL: <https://www.itnonline.com>
10. New AI technology can determine best type of cancer treatment // MedImaging.net. 2019. 23 Jan. URL: <https://www.medimaging.net>
11. AI system spots childhood disease like a doctor // AFP Relaxnews. 2019. 12 Feb. URL: <https://medicalxpress.com/news/2019-02-ai-childhood-disease-doctor.html>
12. AI-based diagnosis system detects over 30 medical conditions // MedImaging.net. 2019. 23 Jan.
13. Artificial Intelligence urged for educating next generation of medical professionals // HospiMedica International. URL: <https://www.hospimedica.com>
14. Artificial Intelligence in Healthcare: the future is amazing // Healthcare Weekly. URL: <https://www.healthcareweekly.com>

УДК 004

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ МАТЛАВ**

**Алиса Викторовна Адамова**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

[alicegarth@gmail.com](mailto:alicegarth@gmail.com)

**Аннотация.** Рассмотрены основные методы анализа variability сердечного ритма. Для дальнейшей реализации в среде Matlab были выбраны статистические параметры variability сердечного ритма, относящиеся к временным методам.

**Ключевые слова:** variability сердечного ритма, временные методы variability сердечного ритма, Matlab

# STATISTICAL METHODS FOR ANALYZING HEART RATE VARIABILITY AND THEIR IMPLEMENTATION IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Alice V. Adamova

*Penza State University, Penza, Russia*

alicegarth@gmail.com

**Abstract.** The main methods of analyzing heart rate variability are considered. For further implementation in the Matlab environment, the heart rate variability statistical parameters related to temporary methods were selected.

**Keywords:** heart rate variability, temporary heart rate variability methods, Matlab

Интервалы времени между циклами сердечных сокращений не являются равномерными. Данное явление известно как вариабельность сердечного ритма (ВСР). Основой кардиоинтервалов служит длительности между R-R интервалами, так как R-зубец имеет наибольшую амплитуду, что облегчает выделение интервалом при компьютерной обработке сигнала. Для анализа ВСР полученные сигналы с электрокардиограммы проходят предобработку, получают данные и на основе них проводят анализ. Рассматриваются несколько методов анализа ВСР [1–2]:

– временные методы, в которых могут рассматриваться такие переменные как разница между максимальным и минимальным значениями нормальных интервалов (NN), среднее значение частоты сердечных сокращений (ЧСС), средний NN-интервал и т.д. К временным методам относят статистические методы, включающие показатели, основанные на параметрах временных методов и геометрические методы, преобразующие последовательность NN-интервалов в геометрическую структуру;

– нелинейные методы, включающие корреляционные ритмограммы, методы анализа нелинейных хаотических колебаний кардиоритма;

– частотный метод (анализ спектральной плотности мощности).

Для последующего анализа ВСР были выбраны следующие параметры для расчёта: SDNN, RMSSD, pNN50, CV<sub>r</sub>, а также были

проведены расчёты среднего значения NN-интервалов и NN50, поскольку они необходимы для вычисления вышеперечисленных параметров. Они могут использоваться в том числе для персональной телемедицины [3], а задача относится к классу анализа временных рядов, характеризующих работу саморегулирующих систем [4]. Существуют другие подходы, помимо вышеописанного, основанные на более сложных расчётах с определением относительных величин; они являются развитием базового анализа временных рядов [5].

Реализация расчётов проводилась в среде Matlab. Данные о сигнале были в файлах .csv, так как данный формат достаточно прост в использовании, занимает мало места при хранении больших объёмов данных и совместим с многими программами для работы с таблицами.

Нормализация RR-интервалов проходит в предварительной обработке данных, где исключаются все интервалы, включающие выбросы и артефакты.

Стандартное отклонение всех NN-интервалов рассчитывается как квадратный корень из отношения суммы квадрата разниц текущего значения интервала к среднему, и количества интервалов, уменьшенное на один. При расчёте параметра SDNN сперва необходимо рассчитать среднее значение NN-интервалов, для этого воспользуемся встроенной функцией mean. Расчёт параметра приведён на рис. 1.

```
% Вычисляем среднеквадратическое отклонение
sum_RR_1 = 0;
]for i = 1:(length(RR_length_ms))
    RR_1(i) = (RR_length_ms(i)-NN_mean);
    sum_RR_1 = sum_RR_1 + (RR_1(i))^2;
-end
SDNN = sqrt(sum_RR_1/(length(RR_length_ms)-1));
```

Рис. 1. Расчёт параметра SDNN

Нормальные значения для некоторых параметров ВСР приведены группой экспертов в «Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use» в 1996 г.

и для данного параметра составляет  $141 \pm 39$  мс, но стоит учитывать, что значение сильно зависит от многих параметров, таких как возраст, пол, состояние организма, стресс и т.д. [6]

Параметр RMSSD отражает активность парасимпатического звена вегетативной регуляции. Расчёт параметра представлен на рис. 2:

- разницу двух последовательных интервалов возводим в квадрат;
- суммируем все последовательности;
- полученную сумму делим на количество последовательностей;
- высчитываем квадратный корень из полученного числа.

```
% Квадратный корень из среднего квадрата
% разности значений соседних интервалов R-R
sum_int = 0;

]for i = 1:(n-1)
    int_RR(i) = (RR_length_ms(i+1)-RR_length_ms(i));
    sum_int = sum_int + (int_RR(i))^2;
end
% Квадратный корень из суммы квадратов
% разности соседних кардиоинтервалов
RMSSD = sqrt(sum_int/(n-1));
```

Рис. 2. Расчёт параметра RMSSD

Норма данного параметра приняты значения  $27 \pm 12$ .

Коэффициент вариации рассчитывается как процентное отношение SDNN к среднему значению NN-интервалов. Показывает тоже, что и SDNN, но при анализе BCP имеет меньшую зависимость от артефактов (рис. 3).

```
% Коэффициент вариации
CVr = (SDNN/NN_mean)*100;
```

Рис. 3. Расчёт параметра CV

Параметр pNN50 – это процентное соотношение последовательных NN -интервалов, различие которых превышает 50 мс к общему числу рассмотренных кардиоинтервалов. Он отражает влияние парасимпатического отдела на сердечный ритм. Расчёт pNN50 приведён на рис. 4.

```

% Вычисляем количество интервалов с длительностью > 50мс
NN50 = 0;
for i = 1:(n-1)
    if abs(RR_length(i+1)-RR_length(i)) > 0.050
        NN50 = NN50 + 1;
    end
end
% Вычисляем пропорцию, полученную делением NN50 на количество интервалов
%NN
pNN50 = NN50/(n-1)*100;

```

Рис. 4. Расчёт параметра pNN50

Для дальнейшего анализа параметров данные сохраняются в .csv – формате, где данные включают в себя информацию о названии файла и все посчитанные параметры (рис. 4).

Name_file	SDNN	pNN50	RMSSD	CVr	NN_mean	NN50
"RR"	96.596	74.074	101.66	12.677	761.96	20

fx >>

Рис. 5. Результат расчёта параметров

Выбор среды Matlab обусловлен удобством реализации алгоритмов расчётов параметров ВСР, особенно с учётом того, что в данной программе можно так же производить как предобработку сигналов, моделирование сигнала, так и последующий анализ полученных параметров. Достаточно простой синтаксис языка Matlab позволяет рассчитать необходимые параметры расчётов и возможность работать с нужными форматами файлов ускоряют процесс реализации. Данный вариант реализации может быть интегрирован в системы мобильного мониторинга ЭКГ, такие как [7–8].

## *Список литературы*

1. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. [и др.]. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87.
2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Гаврилушкин А. П. [и др.]. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (ч. 1) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86. EDN: HSPLXF
3. Федоров В. Ф., Столяр В. Л. Персональная телемедицина. Перспективы внедрения // Врач и информационные технологии. 2020. № 2. С. 36–44. doi: 10.37690/1811-0193-2020-2-36-44 EDN: VTUCBD
4. Fedorov V. F. Time series analysis in self-regulating systems // Journal of Radio Electronics. 2019. № 5. P. 8. doi: 10.30898/1684-1719.2019.5.9 EDN: TXKCLP
5. Fedorov V. F., Stolyar V. L. Heart Rate Variations Analysis: Traditions, Misconceptions, Perspectives // 2021 23rd International Conference on Digital Signal Processing and its Applications, DSPA 2021 (Moscow, 24–26 March 2021). Moscow, 2021. doi: 10.1109/DSPA51283.2021.9535761. EDN: JJSTSF
6. Moli H. M. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology // Circulation. 1996. Vol. 23. P. 1043–1065.
7. Сафронов М. И., Кузьмин А. В., Бодин О. Н. [и др.]. Способ и аппаратно-программные средства анализа биоимпеданса для систем мобильного мониторинга ЭКГ // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 3 (35). С. 118–128. doi: 10.21685/2227-8486-2020-3-10 EDN: QNAUZS
8. Волчихин В. И., Митрохин М. А., Кузьмин А. В. [и др.]. Особенности обработки электрокардиосигналов в системах мобильного мониторинга // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 1. С. 54–63. doi: 10.21685/2072-3059-2018-1-5 EDN: XQLFJB
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669338 Российская Федерация. Программа для расчета показателей variability сердечного ритма на основе электрокардиографических данных с измерением временных интервалов в абсолютных и относительных величинах / Кузьмин А. В., Адамова А. В. ; заявитель Пензенский государственный университет – № 2024667706 ; заявл. 30.07.2024 ; опубл. 16.06.2024.

## **КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ГЛОССАРИЯ НА ОСНОВЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ**

**Павел Андреевич Астанин**

*Российский национальный исследовательский медицинский  
университет имени Н. И. Пирогова, г. Москва, Россия*

med\_cyber@mail.ru

**Аннотация.** Анализ больших данных является основой для создания современных систем искусственного интеллекта. Субстратом для разработки систем искусственного интеллекта в медицине может стать глоссарий, построенный на основе Унифицированной национальной медицинской номенклатуры. Описаны три главных направления создания подобного глоссария.

**Ключевые слова:** глоссарий, термин, концепт, большие языковые модели, обработка естественного языка

## **KEY DIRECTIONS IN THE GLOSSARY DEVELOPMENT BASED ON THE NATIONAL UNIFIED TERMINOLOGICAL SYSTEM**

**Paul A. Astanin**

*Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia*

med\_cyber@mail.ru

**Abstract.** Big data analysis is a basis for development of modern artificial intelligence (AI) systems. The glossary based on a National Unified Terminological System can become a substrate for building AI systems in medicine. This article describes three main directions in such glossary development.

**Keywords:** glossary, term, concept, large language models, natural language processing

### **Введение.**

Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» утверждена Национальная стратегия развития

искусственного интеллекта (ИИ), которая является основным документом, определяющим план развития и внедрения систем ИИ во все сферы экономической деятельности до 2030 года [1].

Разработка современных систем ИИ сопряжена с анализом больших данных и поиском нетривиальных закономерностей предметной области. Важно отметить, что спектр методов, который может применяться для анализа, в значительной мере определяется видом имеющихся данных. В настоящее время основная доля (~80 %) медицинских данных накапливается и хранится в неструктурированном виде, что подтверждает необходимость создания инструментов для решения задач обработки естественного языка (NLP – Natural language processing) [2]. NLP является сложным наукоёмким направлением, для реализации которого требуется развивать алгоритмы полнотекстового поиска и смыслового (семантического) анализа текста. Создание эффективных NLP-инструментов способно обеспечить качественный скачок в развитии систем ИИ и ускорить цифровую трансформацию медицины [3].

Реальное внедрение ИИ в систему здравоохранения становится возможной при существовании единого цифрового контура. В нашей стране подобный контур образуется Единой государственной информационной системой здравоохранения (ЕГИСЗ). Одной из подсистем ЕГИСЗ является Федеральный реестр нормативно-справочной информации (ФР НСИ), предназначенный для автоматизированного формирования, хранения и накопления классификаторов, кодификаторов и иной нормативно-справочной информации в сфере здравоохранения [4]. В настоящее время ФР НСИ служит единственным источником верифицированной клинической терминологии на русском языке и насчитывает более 1,8 тыс. справочников.

Терминологическое пространство, образуемое федеральными справочниками, может стать основой для создания единого систематизированного свода формулировок специализированных понятий для смыслового покрытия различных клинических областей. К текущим существенным недостаткам ФР НСИ относятся слабая взаимосвязь справочников друг с другом, практически полное отсутствие сопоставления с международными терминологическими системами и низкая степень нормализации (дублирование) понятий.

В рамках частичного решения вышеупомянутых проблем с 2022 г. в Институте цифровой трансформации медицины РНИМУ им. Н. И. Пирогова разрабатывается Унифицированная национальная медицинская номенклатура (УНМН). Основой УНМН является Единая система медицинского языка (UMLS – Unified Medical Language System), объединяющая 103 международных (англоязычных) справочника. Актуальная версия UMLS (2024AA) насчитывает 4,8 млн концептов – уникальных сущностей, агрегирующих синонимичные термины из разных справочников (более 13 млн).

При создании УНМН с концептами UMLS было сопоставлено 259 федеральных справочников. Данные справочники обеспечивают частичный учёт национальной специфики медицины, основанной на клинических рекомендациях и научных статьях. Дальнейшая проработка УНМН в сторону русскоязычной адаптации потребует создания (с привлечением экспертов) новых и интеграции существующих специализированных справочников терминов.

Таким образом, каждый концепт УНМН содержит синонимичные друг для друга формулировки, обеспечивающие терминологическое наполнение данной сущности. С каждым концептом могут быть сопоставлены дефиниции – фрагменты текста, раскрывающие сущность посредством описания её отличительных особенностей [5]. Накопление дефиниций для концептов УНМН позволит создать крупнейший в нашей стране медицинский глоссарий и поисковые инструменты на его основе.

**Целью настоящего исследования** является обзор основных направлений разработки глоссария на основе УНМН.

#### **Результаты и обсуждение.**

Для разработки глоссария на основе УНМН можно выделить и сформулировать три параллельных направления. Первое направление предполагает перевод и адаптацию специализированных глоссариев, входящих в международные справочники оригинального UMLS. В настоящее время около 60 (из 103) справочников UMLS имеют в своём составе глоссарии на английском языке. Для практической реализации данного направления могут применяться гибридные алгоритмы билингвального перевода, базирующиеся на использовании больших языковых моделей (LLM – Large language model) в сочетании с лингвистическими правилами пред-

обработки текста [6]. В настоящее время наиболее качественный билингвальный перевод осуществляется LLM Google Neural Machine Translation (GNMT), которая имеет бесплатный открытый доступ к собственному ядру [7]. Для автоматизированной системы гибридного перевода, разработанной на основе GNMT и собственных правил предобработки текста, уже получены предварительные оценки, указывающие на статистически значимо более высокое качество автоматического перевода в сравнении с экспертным.

Реализация данного направления позволит сгенерировать около 300 тыс. уникальных дефиниций, которые составят основу глоссария. Однако важно отметить, что часть международных справочников UMLS строится преимущественно автоматическим способом и не всегда контролируется экспертными сообществами должным образом (вопреки обратным заявлениям). В связи с этим международные справочники могут исходно содержать ошибки, которые будут наследоваться при формировании глоссария и усиливаться из-за использования автоматических алгоритмов билингвального перевода. Таким образом, качество дефиниций, получаемых в рамках реализации данного направления, с одной стороны, будет зависеть от качества международных справочников UMLS, и, с другой стороны, от качества работы гибридной системы для автоматического билингвального перевода.

Второе направление разработки глоссария предполагает анализ неструктурированного текста научных статей, учебных пособий, монографий и диссертаций, написанных на русском языке. Реализация данного направления позволит получать дефиниции более высокого качества, однако для существенного повышения эффективности потребуется разработка инструментов для автоматического извлечения терминов и их дефиниций. Данные инструменты могут строиться с использованием как символьных алгоритмов (например, на основе регулярных выражений), так и LLM. К LLM, применимым для решения подобных задач, традиционно принято относить нейронные сети с архитектурой Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT). Вопрос о количественных различиях в качестве обогащения глоссария с использованием нейронных сетей с архитектурой BERT и собственных систем, построенных на символьных правилах, остаётся дискуссионным и требует проведения отдельного исследования.

Число дефиниций, которые можно получить описанным способом, не может быть оценено в настоящий момент, поскольку будет зависеть от спектра используемых источников, а также от соотношения чувствительности и специфичности выбранного способа извлечения дефиниций из текста. Следует отметить, что косвенным критерием качества обогащения глоссария в рамках описанного направления станет специфичность алгоритма извлечения дефиниций. Увеличение специфичности (даже при относительно низкой чувствительности) приведёт к значительному сокращению числа потенциальных ошибок и снизит потребность в привлечении человеческих ресурсов для экспертной корректировки глоссария.

Третье направление разработки глоссария заключается в интеграции с УНМН существующих русскоязычных информационно-справочных ресурсов, которые развиваются независимо друг от друга и не являются федеральными справочниками. Данное направление обеспечит максимальную степень верификации информации, вносимой в глоссарий, при низкой потребности в привлечении экспертных ресурсов. Однако количество дефиниций, которое удастся получить подобным образом, окажется сравнительно небольшим.

### **Заключение.**

Разработка глоссария на основе УНМН возможна по трём параллельным направлениям, каждое из которых требует использования разных видов ресурсов и предполагает получение количественно и качественно отличающихся результатов. Глоссарий, построенный на основе унифицированной терминологии и верифицированных источников информации, сможет использоваться для построения поисковых систем с элементами ИИ. В свою очередь внедрение подобных систем обеспечит повышение эффективности работы подсистем ЕГИСЗ и увеличение их связности друг с другом.

### ***Список литературы***

1. Гусев А. В., Морозов С. П., Кутичев В. А., Новицкий Р. Э. Нормативно-правовое регулирование программного обеспечения для здравоохранения, созданного с применением технологий искусственного интеллекта, в Российской Федерации // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2021. № 1 (43). С. 36–45. doi: 10.17116/medtech 20214301136

2. Колесниченко О. Ю., Мартынов А. В., Пулит В. В. [и др.]. Современный передовой уровень искусственного интеллекта для умной медицины // Ремедиум. 2019. № 4. С. 36–43. doi: 10.21518/1561-5936-2019-04-36-43
3. Литвин А. А., Стома И. О., Шаршакова Т. М. [и др.]. Новые возможности искусственного интеллекта в медицине: описательный обзор // Проблемы здоровья и экологии. 2024. Т. 21, № 1. С. 7–17. doi: 10.51523/2708-6011.2024-21-1-01
4. Зарубина Т. В. Единая государственная информационная система – основа цифровизации здравоохранения // Информационные технологии в медицине и здравоохранении : сб. тр. М. : Икар, 2020. С. 22–35.
5. Елисеева Е. П., Корниенко Е. А. Способы терминологической дефиниции (на материале лингвистических терминов) // Лепта : ежегодный научно-методический альманах. Омск, 2020. Вып. 5. С. 35–39.
6. Громов М. С., Чертовских М. Г. Большие языковые модели: текущее состояние, оценки и прогнозы // Международный бизнес. 2023. № 3 (5). С. 24–31.
7. Wu Y., Schuster M., Chen Zh. [et al.]. Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation // Computation and Language. 2016. doi: 10.48550/arXiv.1609.08144

УДК 004.93

## **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

**Вероника Алексеевна Гасанова**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

veronicka6949@yandex.ru

**Аннотация.** Предложен алгоритм обработки электрокардиосигнала на основе фазового портрета, направленный на повышение точности и достоверности диагностики нарушений сердечного ритма. Основное внимание уделено использованию фазовых портретов для визуализации динамики сердечных циклов, что позволяет выявлять аномалии в электрокардиосигнале, указывающие на наличие патологий. Алгоритм включает этапы регистрации

сигнала, предварительной обработки и построения фазового портрета с дальнейшим анализом его структуры и формы для систем поддержки принятия диагностических решений.

**Ключевые слова:** электрокардиосигнал, фазовый портрет, система поддержки принятия решений, персонализация

## AN ALGORITHM FOR PROCESSING AN ELECTROCARDIOSIGNAL BASED ON PHASE PORTRAITS FOR DIAGNOSTIC DECISION SUPPORT SYSTEMS

Veronica A. Hasanova

*Penza State University, Penza, Russia*

veronicka6949@yandex.ru

**Abstract.** An algorithm for processing an electrocardiosignal (ECS) based on a phase portrait is proposed, aimed at improving the accuracy and reliability of the diagnosis of cardiac arrhythmias. The main attention is paid to the use of phase portraits to visualize the dynamics of cardiac cycles, which makes it possible to identify abnormalities in the EC indicating the presence of pathologies. The algorithm includes the stages of signal registration, preprocessing and phase portrait construction with further analysis of its structure and shape for diagnostic decision support systems.

**Keywords:** electrocardiosignal, phase portrait, decision support system, personalization

Анализ многочисленных отечественных и зарубежных исследований за последние 15 лет, показывает, что скрытые компоненты электрофизиологических процессов, не анализируемые в клинической практике, обладают значительной информационной ценностью, что снижает потенциал диагностических систем [1].

Ситуация кардинально меняется с появлением новых подходов к анализу и интерпретации электрокардиограммы (ЭКГ), которые не могут быть реализованы без цифровой обработки ЭКС. Цифровая обработка является эффективным инструментом анализа, визуализации и интерпретации сигналов ЭКГ, обеспечивая более глубокое понимание динамических процессов в сердечно-сосудистой системе. Диагностическая ценность одноканальной ЭКГ повышается за счет оригинального подхода к компьютерному

анализу, а построение фазовых портретов значительно расширяет возможности и повышает достоверность анализа ЭКС за счёт возможности исследования производных  $n$ -го порядка [2]. Фазовые портреты, построенные с помощью статистических методов, обладают свойством стабильности, что проявляется в уменьшении влияния высокочастотного воздействия помехи [3], обуславливая разработку алгоритма обработки ЭКС на основе фазовых портретов актуальной на сегодняшний день.

Алгоритм обработки ЭКС на основе фазовых портретов для изучения кардиоциклов должен включать в себя несколько этапов:

1. Регистрация и предварительная обработка ЭКС с последующим определением зубцов R. R-зубцы определяются по правилу динамического порога: если амплитуда зубца превышает динамический порог, рассчитанный на основе предыдущих значений зубцов R и уровня шума, то данный зубец идентифицируется как R.

2. Построение фазового портрета – графическое представление траектории изменения динамической системы во времени (для осей X и Y берутся различные моменты времени переменной динамической системы:  $n$ -й интервал по оси X и  $(n+1)$ -й интервал по оси Y):

$$y(t) = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $x(t)$  – переменная, отображающая текущее состояние системы (амплитуда ЭКС во времени),  $y(t)$  – производная  $x(t)$  по времени (скорость изменения амплитуды),  $\Delta t$  – интервал времени между измерениями.

Анализ формы и структуры позволяет выявить потенциальные отклонения, основываясь на анализе фазового портрета. Отклонения от нормы могут проявляться в виде искажений, аномалий или нестабильности траекторий в фазовом портрете.

3. Сравнение полученного фазового портрета с портретами, характерными для различных патологий и нормы (для этого используется база данных медицинских карт), что делает анализ ЭКГ более персонализированным. С помощью технологий машинного обучения полученные данные систематизируются, а результаты входят в медицинскую систему для хранения, дальнейшего анализа и использования в лечении.

Представленный алгоритм обеспечивает структурированный подход к анализу ЭКГ с использованием фазовых портретов, что

позволяет значительно повысить точность предварительной диагностики и возможность использования алгоритма в системах поддержки принятия решений врача (рис. 1).

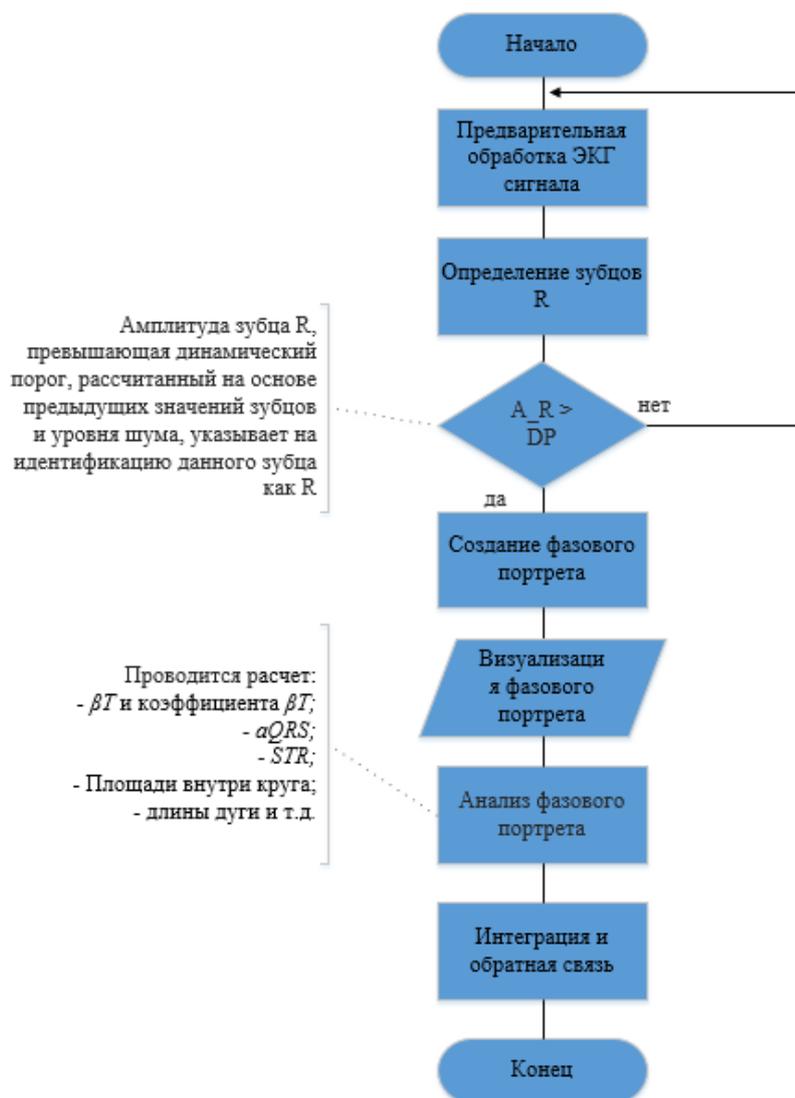


Рис. 1. Алгоритм обработки ЭКС на основе фазовых портретов

В блоке «Начало» – производится регистрация сигнала ЭКГ. Во втором «Предварительная обработка ЭКГ сигнала» данные сигнала подвергаются первичной обработке для улучшения качества данных. В третьем блоке алгоритм определяет зубцы R на ЭКГ, которые указывают на начало каждого сердцебиения.

В блоке «Создание фазовых портретов» с использованием определенных зубцов R строится фазовый портрет всего сигнала ЭКГ.

Далее анализируется форма и структура фазовых портретов для выявления возможных аномалий или особенностей сердечного ритма, которые указывают на наличие патологий.

Фазовый портрет отображает три основных компонента сердечного цикла – петли зубцов  $P$ ,  $T$ , и  $QRS$ -комплекса [4]. Каждая из этих петель представляет разные фазы деятельности сердца.

Особенно важными параметрами фазового портрета являются,  $\beta T$  (коэффициент реполяризации  $T$ -волны), коэффициент  $\beta T$  (стандартное отклонение  $\beta T$ ),  $aQRS$  (амплитуда комплекса  $QRS$ ),  $STR$  (соотношение  $ST$  сегмента с другими параметрами) [1], а также параметры формы фазового портрета (площадь внутри контура, длина дуги). Так, например, большая площадь внутри контура у сигнала в норме указывает на синхронность и адекватную работу сердечной мышцы, а уменьшение площади говорит о нарушении синхронности, так при фибрилляции предсердий происходит быстрое и нерегулярное сокращение предсердий, что снижает эффективность работы сердца.

В блоке «Интеграция и обратная связь» результаты диагностики вносятся в медицинскую карту пациента, а также могут быть использованы для корректировки лечения или получения обратной связи от лечащего врача.

Фазовые портреты очень чувствительны к малейшим изменениям в динамике сердечного ритма, что позволяет выявлять отклонения на ранней стадии. Использование фазовых портретов в системах поддержки принятия диагностических решений является передовым подходом в кардиологии, который расширяет возможности мониторинга и предварительной диагностики, особенно в сложных или неоднозначных клинических случаях.

Следовательно, алгоритм обработки ЭКС с использованием фазовых портретов позволяет выявлять нарушения сердечного ритма на ранних стадиях, что способствует своевременному прогнозированию потенциальных сердечных заболеваний, предотвращению серьезных состояний и персонализированному подходу к лечению.

### ***Список литературы***

1. Минина Е. Н., Файнзильберг Л. С. Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы по совокупности признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ // РКЖ. 2015. № 12 (128). URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-funktsionalnogo-sostoyaniya-serdechno-sosudistoy-sistemy-po-sovokupnosti-priznakov-fazovogo-portreta-odnokanalnoy-ekg> (дата обращения: 05.07.2024).

2. Полосин В. Г. Построение фазовых траекторий в пространстве энтропийно-параметрического потенциала для исследования динамических характеристик сердца // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2017. № 3 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-fazovyh-traektoriy-v-prostranstve-entropiyno-parametricheskogo-potentsiala-dlya-issledovaniya-dinamicheskikh> (дата обращения: 24.09.2024).

3. Полосин В. Г., Бодин О. Н., Балахонова С. А., Рябчиков Р. В. Статистические методы построения фазовой траектории электрокардио-сигнала // Фундаментальные исследования. 2014. № 9. С. 2660–2665.

4. Минина Е. Н., Файнзильберг Л. С. Фазовый портрет одноканальной ЭКГ в оценке функциональных резервов сердечно-сосудистой системы // ВНМТ. 2014. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fazovyy-portret-odnokanalnoy-ekg-v-otsenke-funktsionalnyh-rezervov-serdechno-sosudistoy-sistemy> (дата обращения: 07.10.2024).

УДК 612.176

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ СТРЕССА С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ «УМНОЙ» ОДЕЖДЫ И ПАРАМЕТРОВ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА**

**Людмила Ивановна Герасимова-Мейгал<sup>1</sup>,  
Александр Юрьевич Мейгал<sup>2</sup>,  
Вячеслав Михайлович Димитров<sup>3</sup>,  
Мария Александровна Герасимова<sup>4</sup>,  
Анна Станиславовна Склярова<sup>5</sup>,  
Николай Васильевич Смирнов<sup>6</sup>**

*1,2,3,4,5,6* *Петрозаводский государственный университет,  
г. Петрозаводск, Россия*

*<sup>1</sup>gerasimova@petsu.ru*

**Аннотация.** Проведена апробация технологии «умной» одежды для мониторинга параметров variability ритма сердца и оценки с их помощью уровня стресса в полевых условиях в сравнении с данными, полученными в лабораторных условиях с использованием общепринятых нагрузочных тестов

(локальный холодовой тест, велоэргометрия и когнитивная нагрузка в виде тестов на скорость реакции). Установлено, что «умная» майка Hexoskin Smart Shirt позволяет собирать релевантные данные variability ритма сердца, которые могут быть использованы для оценки уровня стресса. Показано, что наилучшим образом уровень стресса предсказывает такой параметр variability ритма сердца, как приближительная энтропия.

**Ключевые слова:** стресс, «умная» одежда, variability сердечного ритма, машинное обучение

## EVALUATION OF THE STRESS LEVEL WITH HELP OF “SMART” CLOTHING TECHNOLOGY AND PARAMETERS OF HEART RATE VARIABILITY

Ludmila I. Gerasimova-Meigal<sup>1</sup>, Alexander Yu. Meigal<sup>2</sup>,  
Vyacheslav M. Dimitrov<sup>3</sup>, Maria A. Gerasimova<sup>4</sup>,  
Anna S. Sklyarova<sup>5</sup>, Nikolay V. Smirnov<sup>6</sup>

*1,2,3,4,5,6Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia*

*<sup>1</sup>gerasimova@petsu.ru*

**Abstract.** The technology of "smart" clothing for monitoring heart rate variability (HRV) parameters and assessing stress levels with their help in field conditions was tested in comparison with data obtained in laboratory conditions using conventional load tests (local cold test, bicycle ergometry and cognitive load in the form of reaction speed tests). It was found that the "smart" Hexoskin Smart Shirt allows collecting relevant HRV data that can be used to assess stress levels. It was shown that the best predictor of stress levels is such HRV parameter as approximate entropy.

**Keywords:** stress, “smart” clothes, heart rate variability, machine learning

Стресс – это полисистемная реакция организма на раздражители внешней и внутренней среды (стрессоры) [1]. Значение стресса – сохранение постоянства внутренней среды организма (гомеостазис). В репертуар стресса входит интенсификация метаболизма за счет гормональных, вегетативных, нервных и двигательных реакций [1]. Стресса характеризуется стадийностью [1] и разными уровнями интенсивности [2]. Несмотря на исходно защитный характер, стресс может приводить к функциональному «перенапряжению» [1] и нарушению регуляции чувствительных к стрессу систем – нервной, сердечно-сосудистой, желудочно-кишечной и иммунной [1,4]. Стресс может существенно снижать работоспособность, качество

жизни, личностный капитал и социальную адаптацию. Таким образом, инструментальная оценка, контроль, прогнозирование и профилактика стресса являются важной научной проблемой [1, 3]. Для решения этой проблемы необходимо выявление информативных маркеров стресса на основе биосигналов [3].

Известно несколько маркеров стресса, например, психофизиологические, вегетативные, когнитивные и лабораторные (анализы крови и слюны на гормоны) [3,4]. Вегетативные маркеры, например, симпатическая реакция кожи, реакция зрачка и вариабельности ритма сердца (ВРС), привлекают все большее внимание [4–6] в силу доступности и неинвазивности. Параметры ВРС во временной и частотной областях, а также размерность и энтропия ВРС являются. Технологии «умной одежды» удобны для мониторинга ВРС и, соответственно, оценки уровня стресса. В данном исследовании оценивали уровень стресса у здоровых людей в их повседневной деятельности, используя параметры ВРС, полученные с помощью датчиков умной одежды. «Умная» майка Hexoskin была выбрана в качестве умной одежды, поскольку она обеспечивает надежный сигнал ЧСС [7].

В исследовании приняли участие 19 практически здоровых лиц (19–55 лет), на основании информированного согласия (Протокол этического комитета Минздрава Республики Карелия и Петрозаводского государственного университета № 30, 16.06.2014), в двух условиях. В лабораторных условиях (15 испытуемых) стресс вызывали при помощи 1) теста на время реакции (простое и время реакции выбора, реакция на движущийся объект) [8]), 2) 3 минуты работы на велоэргометре с возрастающей нагрузкой [9]), 3) локального холодного теста (ЛХТ) (3-минутное погружение руки в ледяную воду при температуре 3–4 °С. Условия покоя (лежа на кушетке) принимались как условия «без стресса». Всего учтено 10 различных условий. В лабораторных условиях для оценки ВРС использован прибор ВНС-Спектр (ООО Нейрософт, Иваново, Россия). Полученные файлы типа .txt загружали в лицензионную программу Kubios HRV Standard 3.4.5, установленную в лаборатории новых методов физиологических исследований Института высоких биомедицинских технологий ПетрГУ. Всего было успешно получено 147 индивидуальных записей ЭКГ.

В полевых условиях участвовало 8 испытуемых, которые во время повседневной деятельности (ходьба в помещении и на улице, работа на ПК и в Интернете, сидя, телефонные звонки,

прием пищи, включая кофе, сон, посещение фитнес-центра, вождение автомобиля, посещение стоматологической клиники и т.д.). Все испытуемые делали записи своей деятельности в форме с 15-минутными интервалами. В различных испытаниях измерение длилось от 2 до 12 часов, в зависимости от желания испытуемого. Данные собирались только с помощью Hexoskin Smart Shirt (Hexoskin Smart Sensors & AI, Монреаль, Канада). Оценка стресса проводилась во всех условиях при помощи визуально-аналоговой шкалы от 1 до 10 [10].

Параметры ВНС во временной области включали HR ( $hr\_mean$ ), стандартное отклонение ( $sdnn$ ), среднеквадратичную разность ( $rmssd$ ) и долю последовательных интервалов более 50 мс ( $pnn50$ ) нормальных интервалов RR ( $nni$ ). Параметры частотной области включали спектр общей мощности ( $fft\_total$ )  $RRi$ , спектр мощности в очень низких ( $vlf$ ;  $<0,04$  Гц), низких ( $lf$ ;  $0,04-0,15$  Гц) и высоких частотных диапазонах ( $hf$ ;  $0,15-0,40$  Гц) и структуру спектра ( $vlf\_pct$ ,  $lf\_pct$ ,  $hf\_pct$ ,  $lf\_nu$ ,  $hf\_nu$ ). Нелинейные параметры включали выборочную ( $SampEn$ ) и приближенную энтропию ( $ApEn$ ), а также параметры  $sd1$  и  $sd2$  графика Пуанкаре.

Hexoskin Smart Shirt позволяет предоставлять данные в виде звукового файла в формате wav. Этот формат удобен для обработки в условиях готовых библиотек языка Python. Для извлечения пиков R сигнала ЭКГ из wav-файла использовалась функция  $ecg\_peaks$  библиотеки  $neurokit2$  [11]. При известном значении частоты пульса (для HxS – 256 Гц) вычислялось значение времени между пиками, что позволяло вычислить значения интервалов между соседними зубцами R (интервал RR,  $RRi$ ). Полученный набор данных  $RRi$  был отфильтрован с граничными значениями ЧСС  $< 45$  и  $> 180$  уд/мин. После этого каждый временной ряд испытания был подразделен на 3-минутные последовательные сегменты. Затем для каждого из сегментов с помощью инструментария  $ruHRV$  [12] были рассчитаны параметры ВСР. Каждый сегмент был помечен экспертным уровнем воспринимаемого стресса, отмеченным отдельными испытуемыми с помощью визуально-аналоговой шкалы, в одном измерении.

В лабораторных условиях, в результате применения автоматического линейного моделирования установлено, что данная модель предсказывает принадлежность к рангу в 81,5 %. Наилучшими предикторами оказались  $ApEn$  (56 %),  $n50$  % (8 %),  $maxRR$  (7 %),  $min RR$  (6 %),  $SampEn$  (5 %),  $LF/HF$  (5%),  $VLF$  (ms) (4 %).

В полевых условиях в базу данных для анализа было собрано > 10000 ЭКГ сегментов, отмеченных уровнем стресса при помощи визуально-аналоговой шкалы. Из полученных 5-минутных сегментов более 53% имели уровень стресса «2», 17 % – уровень «3», с дальнейшим систематическим уменьшением до уровней «7-9» (около 1 %) и 10 (0 %). Установлено, что АрЕп также является наилучшим параметров для линейного моделирования.

### *Список литературы*

1. Cohen S., Gianaros P. J., Manuck S. B. A stage model of stress and disease // *Perspect. Psychol. Sci.* 2016. № 11. P. 456–463.
2. Allen A. P., Kennedy P. J., Cryan J. F. [et al.]. Biological and psychological markers of stress in humans: focus on the Trier Social Stress Test // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2014. № 38. P. 94–124.
3. Han H. J., Labbaf S., Borelli J. L. [et al.]. Objective stress monitoring based on wearable sensors in everyday settings // *J. Med. Eng. Technol.* 2020. № 44. P. 177–189.
4. Chen S., Xu K., Zheng X. [et al.]. Linear and nonlinear analyses of normal and fatigue heart rate variability signals for miners in high-altitude and cold areas // *Comput. Methods Programs Biomed.* 2020. Vol. 196. doi: 10.1016/j.cmpb.2020.105667
5. Von Rosenberg W., Chanwimalueang T., Adjei T. [et al.]. Resolving ambiguities in the LF/HF Ratio: LF-HF scatter plots for the categorization of mental and physical stress from HRV // *Front Physiol.* 2017. № 8. P. 360. doi: 10.3389/fphys.2017.0030
6. Gerasimova-Meigal L., Meigal A., Sireneva N., Saenko I. Autonomic Function in Parkinson's Disease Subjects Across Repeated Short-Term Dry Immersion: Evidence From Linear and Non-linear HRV Parameters // *Front Physiol.* 2021. № 12. doi: 10.3389/fphys.2021.712365
7. Haddad M., Hermassi S., Aganovic Z. [et al.]. Ecological Validation and Reliability of Hexoskin Wearable Body Metrics Tool in Measuring Pre-exercise and Peak Heart Rate During Shuttle Run Test in Professional Handball Players // *Front Physiol.* 2020. № 11. P. 957. doi: 10.3389/fphys.2020.00957
8. Meigal A., Tretjakova O., Gerasimova-Meigal L. [et al.]. Program of seven 45-min dry immersion sessions improves choice reaction time in Parkinson's disease // *Front Physiol.* 2021. № 11. doi: 10.3389/fphys.2020.621198
9. Skoluda N., Strahler J., Schlotz W. [et al.]. Intra-individual psychological and physiological responses to acute laboratory stressors of different intensity // *Psychoneuroendocrinology.* 2015. № 51. P. 227–236.
10. Lesage F. X., Berjot S. Validity of occupational stress assessment using a visual analogue scale // *Occup Med (Lond).* 2011. № 61. P. 34–436.

11. Makowski D., Pham T., Lau Z. J. [et al.]. NeuroKit2: A Python toolbox for neurophysiological signal processing // A Behavior Research Methods. 2021. № 53. P. 1689–1696.

12. Gomes P., Margaritoff P., Da Silva H. P. pyHRV: Development and evaluation of an open-source python toolbox for heart rate variability (HRV) // Proc. Int. Conf. on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN). Serbia, 2019. P. 822–828.

УДК 004.9

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АРТЕРИАЛЬНЫХ БИФУРКАЦИЙ ВНУТРИОРГАННОГО РУСЛА ПОЧКИ ЧЕЛОВЕКА. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ**

**Дмитрий Николаевич Грибков**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

*rororol23@mail.ru*

**Аннотация.** Предложена и реализована графовая нейронная сеть с механизмом внимания для моделирования артериальных бифуркаций внутриорганного русла почки человека. Проведено сравнение различных подходов в решении данной задачи.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, алгоритм обучения, рекуррентные сети, графовые сети, сети Колмогорова – Арнольда

## **MODELING OF ARTERIAL BIFURCATIONS OF THE INTRAORGAN BED OF THE HUMAN KIDNEY. COMPARISON OF DIFFERENT NEURAL NETWORK APPROACHES**

**Dmitry N. Gribkov**

*Penza State University, Penza, Russia*

*rororol23@mail.ru*

**Abstract.** A graph neural network with an attention mechanism for modeling arterial bifurcations of the intraorgan bed of the human kidney is proposed and implemented. A comparison of various approaches to solving this problem is carried out.

**Keywords:** neural network, learning algorithm, recurrent networks, graph networks, Kolmogorov – Arnold networks

В эпоху цифровизации актуален вопрос моделирования различных систем человеческого организма. Это необходимо для наглядной визуализации различных органов с целью понимания их работы, определения их состояния и наличия или отсутствия каких-либо патологий. Заболевания почек в современном мире крайне распространенная болезнь, почти каждый десятый житель планеты имеет проблемы, связанные с почками, при этом прогресс в решении этих проблем недостаточно высокий [1]. Также известно, что состояние почки в большей степени зависит от состояния ее артериального русла [2].

Целью данной работы является создание модели, способной моделировать

артериальные бифуркации внутриорганных русел почек.

Исследование публикаций по теме артериального русла почки показывает, что его структурной единицей является так называемая дихотомия – родительский сосуд и два его дочерних сосуда [3]. С математической точки зрения это можно представить в виде графа, имеющего структуру полного бинарного дерева, где входящий в почку сосуд является начальным ребром графа, а дочерние сосуды являются дочерними ребрами графа, выходящими из родительского узла попарно. Данные дочерние сосуды имеют названия в зависимости от их диаметров: минимального –  $min$  и максимального –  $max$ . Для корректного построения модели необходимо знать две характеристики – диаметр сосуда  $D$  и длину сосуда  $L$ . Задавая  $n$  начальных сегментов артериального русла, с помощью корректной модели появляется возможность достроить артериальное русло почки до минимальных возможных размеров сосудов, способных быть рассчитанными моделью. Резюмируя вышесказанное, зная значения характеристик родительского сосуда  $D$  и  $L$ , появляется возможность найти значения характеристик  $dmax$  и  $dmin$ ,  $lmax$  и  $lmin$  дочерних сегментов.

Экспериментально было получено, что расчет диаметров артериальных русел почек представляет из себя статическую задачу, легко решаемую двумя уравнениями линейной регрессии для  $dmin$  и  $dmax$  сосудов [4]. Однако для нахождения  $lmin$  и  $lmax$  дочерних сосудов этот способ не подходит, ввиду отсутствия явных зависимостей между длинами родительских и дочерних сегментов. Из-за этой проблемы для моделирования были использованы различные архитектуры нейронных сетей, так как они могут приближать

практически любые нелинейные функции, что делает их универсальным инструментом для решения широкого спектра задач, включая моделирование артериальных русел почки [5].

Для создания нейронных моделей использовались результаты исследований анатомии внутриорганный артериального русла почки человека, представленные в формате CSV в виде таблицы, содержащей диаметры и длины сегментов почечных сосудов [6]. В исходные данные также включены пол и возраст пациента, закодированные в соответствии с рекомендациями ВОЗ. Для построения модели использовались следующие архитектуры нейронных сетей: полносвязная нейронная сеть прямого распространения, рекуррентная нейронная сеть, нейронные сети Колмогорова-Арнольда (KAN – Kolmogorov-Arnold Networks) и графовая нейронная сеть. Данный выбор был обусловлен как стандартным применением части этих нейронных сетей для решения задачи регрессии, так и результатами самих исследований. Для каждой из модели была использована типичная подготовка табличных обучающих данных [7]. Пропуски данных были удалены, выбросы в данных отсутствуют. Также из исходных данных были удалены несвязные ребра графа, которые возникли из-за несовершенства технологии получения исходного набора артериальных русел почек, в результате которых появлялись несвязные в почке сосуды. Для обучения сетей было использовано 80% примеров из общей выборки, оставшиеся использовались для проверки качества обучения.

Начальной моделью для обучения была выбрана полносвязная сеть (fully connected neural network) прямого распространения ввиду типичности данной сети для работы с табличными данными при решении задачи регрессии. Для реализации была выбрана библиотека PyTorch [8]. Для обучения сети использовался алгоритм Adam с переменной скоростью обучения [9]. В качестве функции потерь была использована среднеквадратичная ошибка (Mean Squared Error Loss). Конфигурация сети была определена путем оптимизации параметров. Наилучшие результаты были достигнуты в следующей конфигурации: три слоя, 156 нейронов в скрытом слое, функция активации ReLU (Rectified Linear Unit) для скрытого слоя и линейная функция активации для выходного слоя. Коэффициент детерминации  $r^2$  для тренировочного набора для  $l_{max}$  получился 0,56, для тестового набора 0,42. График функции потерь для обучающего набора данной сети представлен на рис. 1. Из него видно, что расхождение исходных данных от полученных

имеет общую квадратичную среднюю ошибку равной 5, что является достаточно большой погрешностью при моделировании.

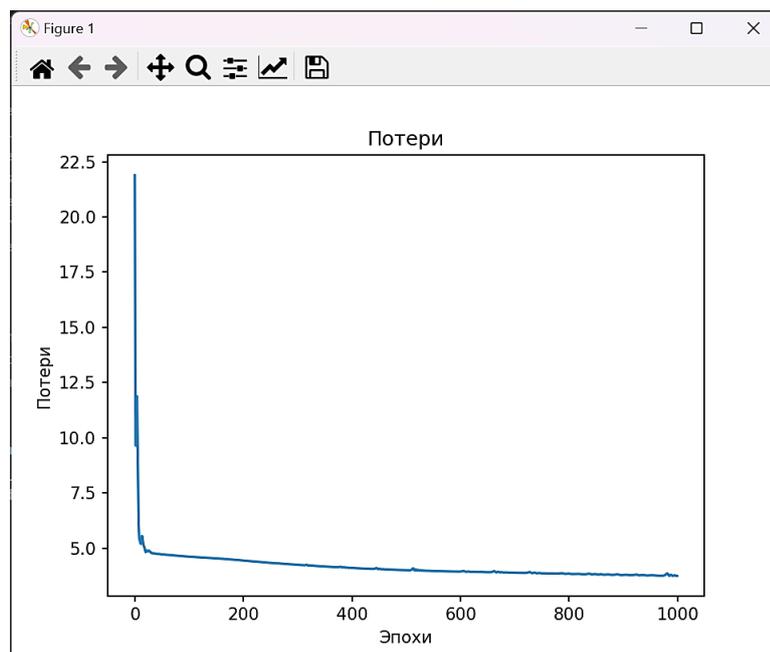


Рис. 1. График функции потерь полно связной сети

Второй моделью для проверки была выбрана рекуррентная сеть (Recurrent neural network) с долгой краткосрочной памятью (Long short-term memory). Данный выбор обусловлен неудовлетворительными результатами полносвязной сети, а также предположением, что длины сегментов артериального русла почки представляют собой последовательность, а рекуррентные сети ориентированы на работу с последовательностями. В дополнение к предыдущей обработке данных дополнительно была применена нормализация для улучшения работы модели. Алгоритм обучения и функция потерь аналогичны полносвязной сети. Наилучшие результаты были показаны сетью, состоящей из 4 слоев, в каждом из которых 512 нейронов. Коэффициент детерминации  $r^2$  для обоих наборов оказался равен 0. График функции потерь для данной сети представлен на рис. 2. Из него видно, что сеть находит зависимости при обучении, но абсолютно не может распространить их на те данные, которые не были известны при обучении.

Следующей моделью для проверки была выбрана альтернатива полносвязной сети – KAN (Kolmogorov-Arnold Network) архитектура [10]. В отличие от первой в ней используется не теорема

Цыбенко об аппроксимации любой функции, а теорема Колмогорова-Арнольда. Исследователи доказали [11], что аппроксимация непрерывной ограниченной функции от множества переменных сводится к нахождению полиномиального числа одномерных функций:

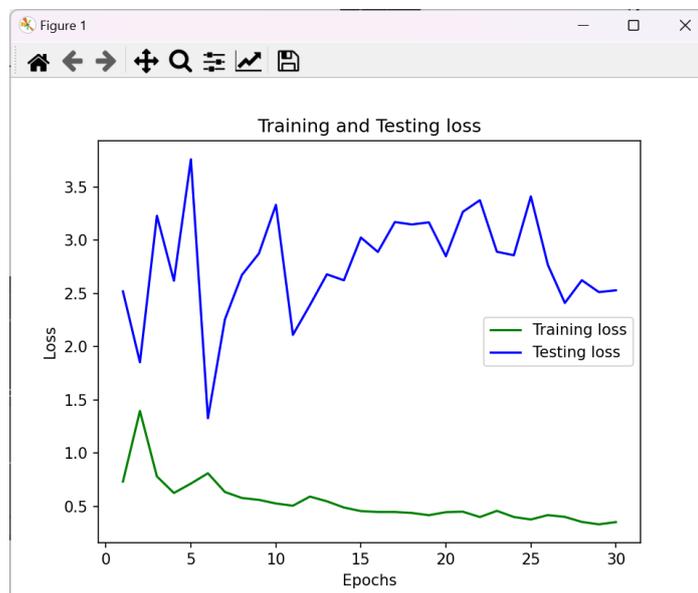


Рис. 2. График функции потерь LSTM сети

$$f(x) = f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{q=1}^{2n+1} \Phi_q \left( \sum_{p=1}^n \phi_{q,p}(x_p) \right)$$

Другими словами, чтобы получить исходную функцию, необходимы обычные одномерные функции, количество которых увеличивается полиномиально, а не экспоненциально. Однако применить исходную теорему долго не представлялось возможным, так как одномерные функции могут быть негладкими или фрактальными, в связи с чем их невозможно обучить. Еще одной проблемой является фиксированная структура в теореме, из чего следует, что и сеть на ее основе нельзя масштабировать. Первая проблема была решена сплайнами – гладкой кривой, являющейся кусочно-полиномиальной функцией, задающаяся разными полиномами на разных отрезках, являющимися непрерывными и дифференцируемыми. Вторую проблему решили, используя подход из многослойного перцептрона, где строится матрица обучаемых сущностей, только в отличие от перцептрона составляющими этой матрицы будут не числа, а функции:

$$KAN(x) = (\Phi_{L-1} \circ \Phi_{L-2} \circ \dots \circ \Phi_1 \circ \Phi_0)x,$$

где  $\circ$  означает композицию матриц, т.е. матрица  $\Phi_1$  является матрицей от  $\Phi_0$ , матрица  $\Phi_2$  является матрицей от  $\Phi_1$  и так далее.

У данного подхода есть свои плюсы: улучшение точности обучения, более простая интерпретация по сравнению с полносвязной сетью и лучшая аппроксимация сложных функций. Из минусов можно выделить более долгое время обучения сети. Для построения модели KAN была использована библиотека `rukan` [12]. Архитектура сети представляет из себя 3 слоя, ширина базисных функций на первом слое равна 2, на остальных слоях по 1 функции, размер сетки составляет 500 на интервале  $[-5; 5]$ , параметр  $k$  равен 3. Для такой сети на тренировочном наборе  $r^2 = 0.59$ , на тестовом наборе  $r^2 = 0.61$ . Как видно из результатов сравнения с многослойным персептроном, KAN действительно показывает лучшие результаты, что подтверждает доводы как авторов статьи [10], так и критиков KAN [13], утверждавших, что существенное улучшение качества обучения возможно на крайне ограниченных задачах. Для практического применения такого улучшения недостаточно.

Последним типом исследуемых сетей были графовые нейронные сети. Среди них присутствует множество различных архитектур. Были исследованы архитектуры графовых сверточных нейронных сетей [14] и графовые сети внимания [15]. Наилучшие результаты показала именно графовые сети внимания (GAT – Graph Attention Network).

Графовая нейронная сеть внимания – это тип графовой нейронной сети, включающей механизм внимания для адаптивного назначения различных весов узлам в графе, позволяя модели сосредоточиться на более подходящих узлах при агрегации информации. Это делает GAT особенно эффективными для обработки сложных отношений и зависимостей в данных, представленных в виде графа. С математической точки зрения графовая нейронная сеть внимания представляет собой произвольное количество одноименных слоев, связанных между собой. Входными данными для каждого слоя будут узловые признаки:  $h = \{\vec{h}_1, \vec{h}_2, \dots, \vec{h}_N\}$ ,  $\vec{h}_i \in \mathbb{R}^F$ , где  $N$  – это количество узлов, а  $F$  – количество признаков

в каждом узле. Выходом слоя будет являться набор узловых признаков  $h' = \{\vec{h}_1, \vec{h}_2, \dots, \vec{h}_N\}$ ,  $\vec{h}_i \in \mathbb{R}^{F'}$ .

Для того, чтобы уметь преобразовывать входные признаки в какие-либо сложные функции, требуется как минимум одно обучаемое линейное преобразование. Для этого на первом этапе используется общее линейное преобразование, параметры которого определяются матрицей весов,  $W \in \mathbb{R}^{F' \times F}$ , примененное к каждому узлу. Затем применяется *самовнимание* узлов – общий механизм внимания  $a: \mathbb{R}^{F'} \times \mathbb{R}^{F'} \rightarrow \mathbb{R}$  вычисляет коэффициенты внимания  $e_{ij} = a(W\vec{h}_i, W\vec{h}_j)$ , которые показывают, насколько важны узловые признаки  $j$  по отношению к узлу  $i$  ( $a$  является функцией агрегации). Чтобы коэффициенты были легко сравнимы между разными узлами, их нормализуют по всем выборам  $j$  с помощью функции softmax:  $a_{ij} = \frac{\exp(e_{ij})}{\sum_{k \in N_i} \exp(e_{ik})}$ . Нормализованные коэф-

фициенты внимания применяются для расчета линейной комбинации соответствующих им признаков и будут использоваться как финальные выходные признаки каждого узла после применения

нелинейности:  $\vec{h}'_i = \sigma \left( \sum_{j \in N_i} a_{ij} W\vec{h}_j \right)$  ( $\sigma$  является функцией активации) [15].

Графовая сеть внимания имеет несколько преимуществ в сравнении с другими подходами:

1. Расчет каждого слоя внимания может быть эффективно распараллелен по всем ребрам, а вычисление выходных функций по всем узлам.

2. В отличие от графовых сверточных сетей, где все узлы равнозначны, графовая сеть внимания позволяет присваивать разную важность разным узлам, что обеспечивает лучшее качество обучения модели.

3. Внимание применяется в общий манере ко всем ребрам в графе, и поэтому оно не зависит от предварительного доступа к глобальной структуре графа или (характеристикам) всех его узлов (ограничение многих предыдущих техник) [15].

Данные преимущества обуславливают хорошие результаты сети в сравнении с другими архитектурами. Типичными задачами, решаемыми при помощи таких сетей, являются классификация узлов или самого графа, предсказания наличия связей и весов этих связей между узлами графа, или моделирование каких-либо сложных систем. В связи с тем, что сосуды внутри почки имеют постоянные связи, нет смысла предсказывать наличие связи и ее веса. Для решения данной проблемы был использован новый подход предсказания характеристики сосуда  $L$ . Для этого длина артериального русла почки была перемещена с ребра в узловую характеристику вместе с другими наборами признаков данного сосуда. Это позволило сильно повысить точность предсказания по сравнению с остальными подходами и решить исходную проблему. В дополнение к  $L$ , был использован признак  $D$  родительского сосуда, а также  $dmax$  и  $dmin$  дочерних сосудов, искомой характеристикой становится значение дочернего сосуда  $lmax$  или  $lmin$ , в зависимости от того, какую длину предсказывает данная модель GAT сети. Также для работы GAT архитектуры необходимо учитывать уникальные индексы каждого сосуда – они будут соответствовать уникальному индексу ребра графа, на котором будет обучаться нейронная сеть.

Для реализации сети использовалась библиотека `torch_geometric` [16]. Архитектура сети представляет из себя 1 скрытый слой размером 1024 нейрона. Для обучения сети так же использовался алгоритм Adam с переменной скоростью обучения и в качестве функции потерь также была использована функция среднеквадратичной ошибки. Для  $lmin$  на тренировочном наборе  $r^2 = 0.75$ , на тестовом  $r^2 = 0.74$ . Для  $lmax$  на тренировочном наборе  $r^2 = 0.77$ , на тестовом  $r^2 = 0.73$ . График функции потерь на обучающем наборе для данных сетей представлен на рис. 3 и 4.

Таблица сравнений результатов.

Метод	Линейная регрессия	Полносвязная сеть	LSTM сеть	KAN сеть	GAT сеть
$r^2$ для $lmax$	0.3	0.42	0	0.59	0.73
$r^2$ для $lmin$	0.3	0.43	0	0.61	0.77

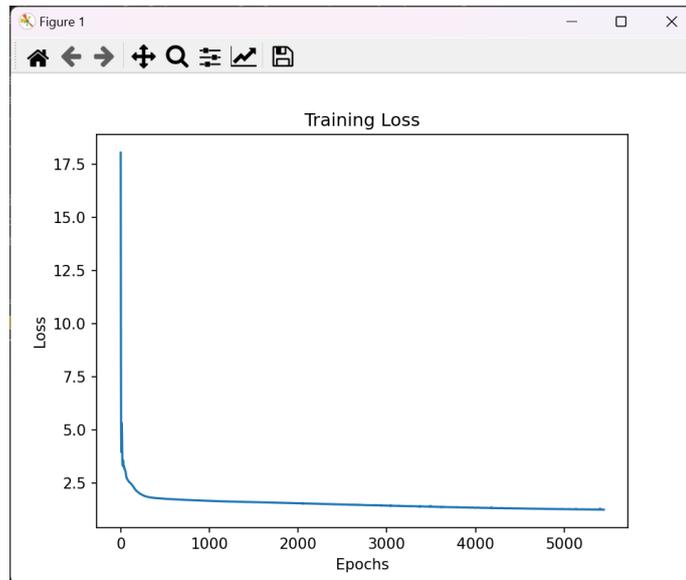


Рис. 3. График функции потерь GAT сети для  $l_{max}$

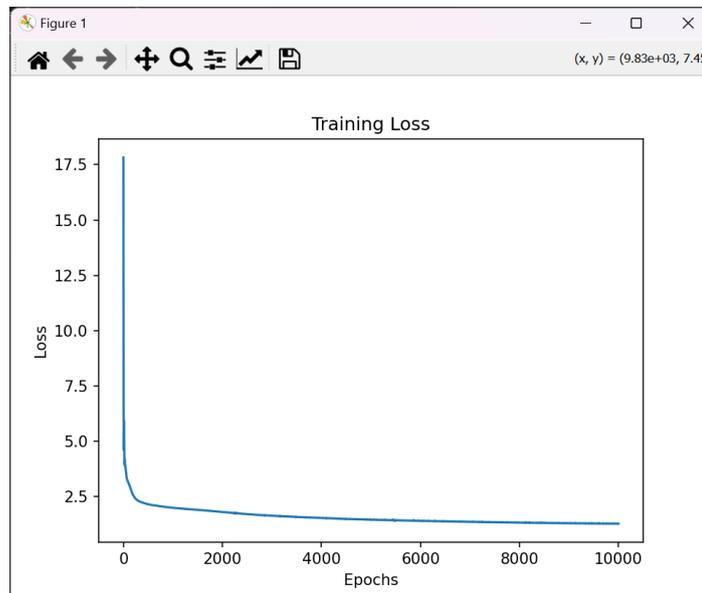


Рис. 4. График функции потерь GAT сети для  $l_{min}$

Результаты экспериментов показывают, что наилучшие показатели в определении связей между родительским и дочерними сегментами показывают графовые нейронные сети, причем как для максимальных длин сосудов, так и для минимальных.

В дальнейших работах планируется реализация программного комплекса моделирования структуры внутриорганного артериального русла почки человека, построенного на основе моделей графовых нейронных сетей внимания.

## *Список литературы*

1. Крю Д., Белло А., Саади Г. Заболевания почек: бремя болезни и доступность медицинской помощи // Нефрология. 2019. № 23 (2). С. 9–17. doi: 10.24884/1561-6274-2019-23-2-9-17
2. Nerem R. M. Tissue engineering a blood vessel substitute the role of biomechanics // Yonsei Medical Journal. 2000. Vol. 41, № 6. P. 735–739.
3. Khanin M. A., Bukharov I. V. Optimal structure of the microcirculatory bed // Journal Theoretical Biology. 1994. Vol. 169, № 3. P. 267–273.
4. Зенин О. К., Кафаров Э. С., Косников Ю. Н. [и др.]. Аналитическая и трехмерная (3D) анатомия сосудистого русла почки человека. Грозный : Чеченский гос. ун-т им. Ахмата Абдулхамидовича Кадырова, 2021. 218 с. EDN: OVHBOY
5. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function // Mathematics of Control, Signals, and Systems. 1989. № 2 (4). P. 303–314.
6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620982 Российская Федерация / Зенин О. К., Дмитриев А. В., Милтых И. С., Юрченко О. О. ; заявитель и правообладатель Пензенский государственный университет – № 2021620806 ; заявл. 27.04.2021 ; опубл. 18.05.2021, Бюл. № 5.
7. Zheng A., Casari A. Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques for Data Scientists. Sebastopol : O'Reilly Media, 2018.
8. PyTorch. URL: <https://pytorch.org/>
9. Kingma D., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>
10. Ziming L., Yixuan W., Sachin V. [et al.]. KAN: Kolmogorov – Arnold Networks. 2024. 16 Jun. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.19756>
11. Арнольд В. И. О представлении функций нескольких переменных в виде суперпозиции функций меньшего числа переменных // Математическое просвещение. 1958. Вып. 3. С. 41–61.
12. Kolmogorov – Arnold Network. URL: <https://kindxiaoming.github.io/pykan/intro.html>
13. Zimbres R. Kolmogorov – Arnold Networks: a Critique. URL: <https://medium.com/@rubenzimbres/kolmogorov-arnold-networks-a-critique-2b37fea2112e>
14. Kipf T. N., Welling M. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.02907>

15. Veličković P., Cucurull G., Casanova A. [et al.]. Graph Attention Networks. URL: <https://arxiv.org/abs/1710.10903>

16. PyG Documentation. URL: <https://pytorch-geometric.readthedocs.io/en/latest/>

УДК 004.9

## РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ НА ОСНОВЕ КОДИРУЮЩИХ ТОЧЕК ОБЪЕМНОГО ПУЛЬСА

Наталья Дмитриевна Курышева

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

nataliekrshhh@gmail.com

**Аннотация.** Рассмотрена программная реализация на языке C# нахождения амплитудно-временных параметров с помощью основных кодирующих точек объемного пульса.

**Ключевые слова:** фотоплетизмография, параметры, амплитуда, время, анализ

## IMPLEMENTATION OF AN ALGORITHM FOR CALCULATING THE AMPLITUDE-TIME PARAMETERS OF A PHOTOPLETHYSMOGRAM BASED ON ENCODING POINTS OF THE VOLUMETRIC PULSE

Natalia D. Kuryшева

*Penza State University, Penza, Russia*

nataliekrshhh@gmail.com

**Abstract.** The software implementation in C# language for finding amplitude-time parameters using the main coding points of volumetric pulse is considered.

**Keywords:** photoplethysmography, parameters, amplitude, time, analysis

Фотоплетизмограмма (ФПГ) – метод регистрации оптической плотности ткани с помощью фотоэлектрического плетизмо-графа;

применяется с целью изучения отдельных характеристик регионального кровообращения, спектральных свойств крови, протекающей через изучаемый участок тела [1]. Мониторинг параметров работы сердечно-сосудистой системы на основе метода фотоплетизмографии становится все более популярным и в некоторых случаях может дополнить или даже заменить мониторинг ЭКГ [2], например, при анализе параметров variability сердечного ритма.

Одним из ключевых аспектов анализа ФПГ является амплитудно-временной анализ, позволяющий выявить изменения тонуса сосудов, эластичности артерий и динамики кровотока [3].

Основными элементами амплитудно-временного анализа являются амплитуда сигнала, временные параметры, соотношение амплитуды и времени, форма волны.

Программа разработана на языке программирования C# в среде программирования Visual Studio 2022. В качестве входных данных программа получает файл .rw, по данным которого строит график пульсовой волны.

Для загрузки данных из файла используется класс `StreamReader`, который считывает символы из потока байтов в определенной кодировке, и метод `ReadLine()`, выполняющий чтение строки символов из текущего потока и возвращающий данные в виде строки. Метод `Split()` используется для деления входной строки формата «Amplitude Date Time», где столбцы разделены с помощью «пробела», на соответствующие значения амплитуды волны, даты и времени. Данные параметры заносятся в массивы амплитудных значений, даты и времени соответственно.

Для построения графика пульсовой волны используется класс `Chart`. Для хранения коллекции точек данных используется свойство `Points` объекта `Series`. Добавление очередного значения осуществляется с помощью метода `AddXY`, который добавляет объект `DataPoint` с заданными координатами `X` и `Y` в конец коллекции. Таким образом, график пульсовой волны представляет собой линейную диаграмму, строящуюся по точкам, в которой по оси `X` лежат значения времени измерения, а по оси `Y` – амплитудные значения.

Основные кодирующие точки для анализа сигналов объемного пульса помогают охарактеризовать ключевые параметры сердечно-сосудистой системы. Эти точки отражают характерные особенности пульсовой волны, и они важны для дальнейшей интерпретации сигналов, анализа сердечно-сосудистых заболева-

ний и мониторинга здоровья [4]. Основные кодирующие точки пульсовой волны представлены на рис. 1. Для ввода значений основных кодирующих точек, необходимых для вычисления параметров, пользователю необходимо нажать на соответствующие точки на графике пульсовой волны.

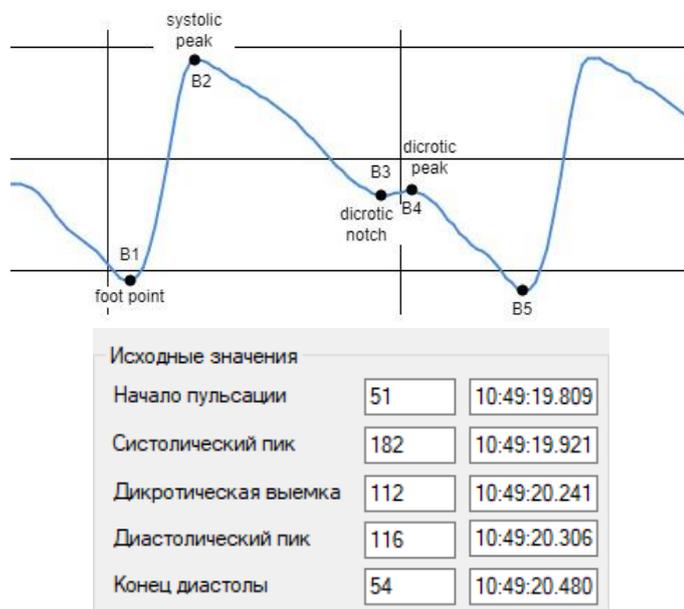


Рис. 1. Основные кодирующие точки объемного пульса

Кнопка «Вычислить» позволяет найти значения основных амплитудно-временных параметров и выводит их в сгруппированном виде (рис. 2).

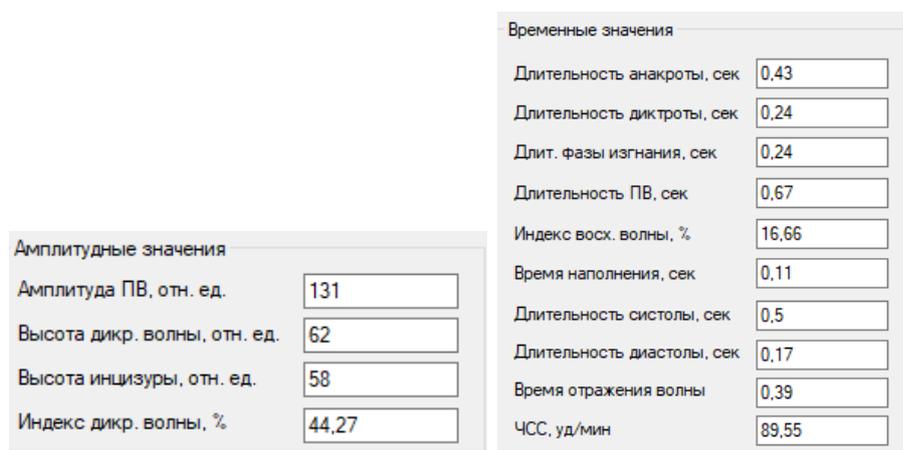


Рис. 2. Амплитудные и временные параметры пульсовой волны

Визуальное отображение параметров помогает наглядно оценить состояние сердечно-сосудистой системы пациента, увидеть отклонения от нормативных значений. Далее в программе будет предусмотрена возможность сохранения параметров в отдельный

файл и возможность вывода на экран информации о состоянии здоровья пациента на основании полученных результатов. В дальнейшем эти данные могут быть загружены в соответствующую базу данных и использоваться в составе системы поддержки принятия врачебных решений [5] в качестве одного из источников первичной информации для анализа.

### **Список литературы**

1. Смирнов В. А. Биофизические основы плетизмографии. Регистрация и анализ фотоплетизмограммы : метод. указания для самоподготовки. Благовещенск. 9 с.
2. Сафронов М. И., Кузьмин А. В., Бодин О. Н. [и др.]. Способ и аппаратно-программные средства анализа биоимпеданса для систем мобильного мониторинга ЭКГ // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2020. № 3 (35). С. 118–28. doi: 10.21685/2227-8486-2020-3-10.
3. Семинистая Е. С. Метод декомпозиции фотоплетизмограммы на основе интегральной модели кровообращения // Ползуновский вестник. 2013. № 3. С. 53–57.
4. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Вагарин А. Ю., Рытик А. П. Методы и аппаратура для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы по характеристикам пульсовой волны. Саратов, 2009. 96 с.
5. Демушкина К. М., Демушкин М. О., Кузьмин А. В. Обзор методов проектирования систем поддержки принятия врачебных решений // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2 (42). С. 75–89. doi: 10.21685/2227-8486-2022-2-6

УДК 517.3

## **ЗАДАЧА ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДАМИ СВЧ-ТОМОГРАФИИ**

**Андрей Олегович Лапич<sup>1</sup>,  
Михаил Юрьевич Медведик<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>lapich.a@yandex.ru

<sup>2</sup>\_medv@mail.ru

**Аннотация.** В работе предложен алгоритм решения задачи определения неоднородностей в объектах на примере диагностики рака молочной

железы. Для решения данной обратной задачи был использован двухшаговый метод с применением объединенных расчетных сеток.

**Ключевые слова:** объемное интегральное уравнение, численный метод, метод коллокации, объединенные расчетные сетки

## PROBLEM OF DIAGNOSING BREAST CANCER USING MICROWAVE TOMOGRAPHY METHODS

Andrey O. Lapich<sup>1</sup>, Michael Yu. Medvedik<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>lapich.a@yandex.ru

<sup>2</sup>\_medv@mail.ru

**Abstract.** The paper proposes an algorithm for solving the problem of determining inhomogeneities in objects using the example of diagnosing breast cancer. To solve this inverse problem, a two-step method was used using combined computational grids.

**Keywords:** volume integral equation, numerical method, collocation method, combined computational grids

Волноводные задачи идентификации представляют собой одно из перспективных направлений в области научных исследований, нацеленное на улучшение диагностики и мониторинга заболеваний. В частности, их применение в медицине, а именно в обнаружении рака молочной железы, позволяет разработать более точные и эффективные подходы. На практике использование волноводов, как высокочувствительных инструментов для анализа биологических тканей, открывает новые горизонты в выявлении опухолевых маркеров. Эта методология основывается на взаимодействии электромагнитных волн с веществом, что позволяет уловить даже малейшие изменения в структуре клеток. Таким образом, волноводы могут стать ключевым элементом в создании неинвазивных диагностических инструментов, способных выявлять рак на ранних стадиях. Клинические испытания показывают, что интеграция волноводных технологий с традиционными методами визуализации, такими как маммография, может значительно повысить точность диагностики и быть важным шагом к индивидуализированному подходу в лечении рака молочной железы. В результате, волноводные техники не только расширяют гори-

зонты медицинской диагностики, но и способствуют улучшению качества жизни пациентов.

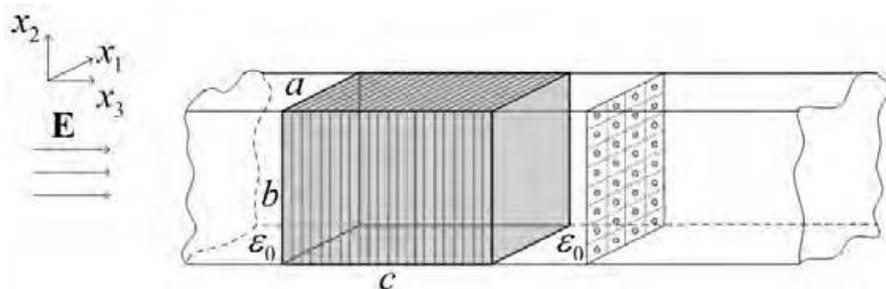


Рис. 1. Прямоугольный волновод с помещенным в него телом

Рассмотрим тело  $Q$ , расположенное в прямоугольном волноводе  $P = \{x : 0 < x_1 < a, 0 < x_2 < b, -\infty < x_3 < +\infty\}$  представленном на рисунке 1. Будем считать, что поверхность волновода  $\partial P$  является идеально проводящей. Тело характеризуется постоянной проницаемостью  $\mu_0$  и положительным диэлектрическим тензором  $\hat{\varepsilon}(x)$ . Компоненты  $\hat{\varepsilon}(x)$  представляют собой ограниченные функции в области  $\bar{Q}$ ,  $\hat{\varepsilon} \in L_\infty(Q)$ , а также  $\hat{\varepsilon}^{-1} \in L_\infty(Q)$ . Рассмотрим процесс определения структуры тела  $Q$  и поиска в нем неоднородных вкраплений.

*Описанная задача определяется системой уравнений Максвелла [1]–[3], которая в свою очередь, сводится к объемному сингулярному интегральному уравнению*

$$\begin{aligned} \vec{E}(x) = \vec{E}^0(x) + k_0^2 \int_Q \hat{G}_E \left( \frac{\hat{\varepsilon}(y)}{\varepsilon_0} - \hat{I} \right) \vec{E}(y) dy + \\ + \text{grad div} \int_Q \hat{G}_E \left( \frac{\hat{\varepsilon}(y)}{\varepsilon_0} - \hat{I} \right) \vec{E}(y) dy, \quad x \in Q, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\hat{I}$  – единичный тензор. Существуют многочисленные примеры численного решения уравнения (1). Определяем значение поля  $\vec{E}(y)$  путем численного решения уравнения (1) одним из проекционных методов. Далее рассчитываем значения ближнего поля вблизи тела в определенных точках наблюдения. Для этого подставим координаты всех точек наблюдения  $x_{ob}$  в правую часть уравнения (1) и его функцию Грина. Путем несложных вычислений получаем требуемые значения.

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_m(x_{ob}) = & \mathbf{E}^0(x_{ob}) + k_0^2 \int_Q \hat{G}_E(x_{ob}, y) \left( \frac{\varepsilon(y)}{\varepsilon_0} - 1 \right) \mathbf{E}(y) dy + \\ & + \text{graddiv} \int_Q \hat{G}_E(x_{ob}, y) \left( \frac{\varepsilon(y)}{\varepsilon_0} - 1 \right) \mathbf{E}(y) dy. \end{aligned} \quad (2)$$

На практике значения ближнего поля измеряются с помощью специальных приборов. Эти приборы способны обеспечить высокую точность порядка  $10^{-3}$ .

Идентификация неоднородностей производится на основе двухшагового алгоритма, описанного в [4–5]. Введем функцию  $\mathbf{J}(y)$  описывающую значения тока через поле  $\mathbf{J}(y) = \left[ \frac{\varepsilon(y)}{\varepsilon_0} - 1 \right] \mathbf{E}(y)$ , и подставим ее в уравнение (1), далее решим полученное уравнение относительно тока  $\mathbf{J}(y)$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_m(x_{ob}) - \mathbf{E}^0(x_{ob}) = & \\ = k_0^2 \int_Q \hat{G}_E(x_{ob}, y) \mathbf{J}(y) dy + \text{graddiv} \int_Q \hat{G}_E(x_{ob}, y) \mathbf{J}(y) dy, & \\ x_{ob} \notin Q, & \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\mathbf{E}_m(x_{ob})$  является моделируемым полем в точках  $x_{ob}$ .

Далее производится пересчет новых значений с использование рассчитанного тока  $\mathbf{J}(y)$  по формуле

$$\begin{aligned} \left( \frac{\varepsilon(y)}{\varepsilon_0} - 1 \right) = & \\ = \frac{\mathbf{J}(x)}{\mathbf{E}^0(x_{ob}) + \left( k_0^2 \int_Q G_E(x, y) \mathbf{J}(y) dy + \text{graddiv} \int_Q G_E(x, y) \mathbf{J}(y) dy \right)}, & x \in Q. \end{aligned} \quad (4)$$

Уравнение (3) представляет собой объемное сингулярное интегральное уравнение первого рода. Основная сложность задачи восстановления диэлектрической проницаемости материала заключается именно в решении данного уравнения.

На рис. 2 приведены результаты решения задачи на неоднородном теле  $Q$ , имеющем форму прямоугольного параллелепипеда. В процессе моделирования решений в ток была внесена погрешность порядка 1 %. Размеры тела:  $a = 0.02m, b = 0.01m, c = 0.02m$ , волновое число  $k_0 = 250m^{-1}$ . Размер расчетной сетки  $12 \times 12 \times 12$ .

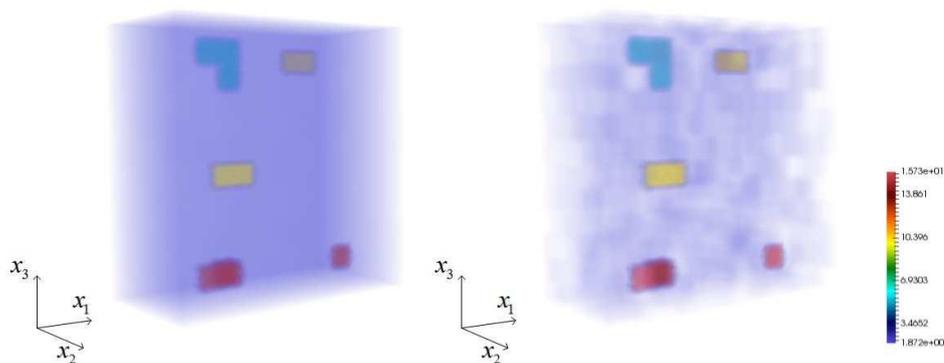


Рис. 2. Точные и восстановленные значения модуля диэлектрической проницаемости тела  $Q$

Графическая визуализация результатов восстановления свидетельствует о высокой устойчивости метода. При добавлении шума предложенный алгоритм без труда выявляет значения параметров неоднородностей и их расположение, даже при внесении погрешности, что указывает на возможность применения данного подхода в разработке технических устройств.

### *Список литературы*

1. Medvedik M. Yu., Smirnov Yu. G., Tsupak A. A. Non-iterative two-step method for solving scalar inverse 3d diffraction problem // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2020. Vol. 28, № 10. P. 1474–1492.
2. Medvedik M. Yu., Moskaleva M. A. Numerical method for reconstruction of inhomogeneity parameters of a body placed in a semi-infinite rectangular waveguide // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2020. Vol. 41, № 7. P. 1371–1376.
3. Lapich A. O., Medvedik M. Yu. Method of Volume Singular Equations for Solving a Nonlinear Problem of Diffraction in a Semi-Infinite Rectangular Waveguide // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2023. Vol. 44, № 9. P. 4028–4033.
4. Smirnov Yu. G., Tsupak A. A., Medvedik M. Yu. The two-step method for determining a piecewisecontinuous refractive index of a 2D scatterer by near field measurements. // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2020. Vol. 28, № 3. P. 427–447.
5. Medvedik M. Yu., Smirnov Yu. G., Tsupak A. A. Non-iterative two-step method for solving scalar inverse 3D diffraction problem // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2020. Vol. 28, № 10. P. 1474–1492.

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В ОНКОГЕМАТОЛОГИИ

Евгений Валерьевич Поляков<sup>1</sup>,  
Валентина Викторовна Дмитриева<sup>2</sup>,  
Екатерина Викторовна Шувалова<sup>3</sup>,  
Александр Александрович Дюмин<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
г. Москва, Россия*

<sup>1</sup>EVPolyakov@mephi.ru

<sup>2</sup>dmitrievq@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mailekaterina2504@ya.ru

<sup>4</sup>AAdyumin@mephi.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрено формирование диагностического заключения с использованием нейронных сетей глубокого обучения в онкогематологии. Экспериментально показано, что предложенное решение позволяет решать распределенно задачу формирования наборов данных и диагностического заключения для новых объектов исследований.

**Ключевые слова:** глубокое обучение, формирование наборов данных, аннотирование изображений

## DIAGNOSTIC OPINION GENERATION USING DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS IN ONCOHEMATOLOGY

Eugene V. Polyakov<sup>1</sup>, Valentina V. Dmitrieva<sup>2</sup>,  
Catherine V. Shuvalova<sup>3</sup>, Alexander A. Dyumin<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>*National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia*

<sup>1</sup>EVPolyakov@mephi.ru

<sup>2</sup>dmitrievq@yandex.ru

<sup>3</sup>e-mailekaterina2504@ya.ru

<sup>4</sup>AAdyumin@mephi.ru

**Abstract.** A system of dataset generation using deep learning in oncohematology has been developed. It is experimentally shown that this system allows solving the distributed problem of dataset generation for new objects, and deep learning provides automation of the process.

**Keywords:** deep learning, dataset generation, image annotation

Анализ препаратов крови и костного мозга является одним из этапов диагностики опухолевых и неопухолевых заболеваний крови. В рамках анализа опытным врачом клинической лабораторной диагностики проводится морфологическое исследование отдельных клеток. В частности, врач клинической лабораторной диагностики оценивает клетки на предмет возможных морфологических отклонений и производит дифференциальный подсчет количества клеток различных типов. В тех случаях, когда для постановки диагноза требуется точный процент атипичных клеток, как минимум в двух мазках костного мозга подсчитывается 500 клеток костного мозга, чтобы получить репрезентативный процент отдельных клеточных линий. Тем не менее, получение дифференциального количества клеток при отдельных биопсиях костного мозга является трудоемкой задачей. Учитывая распространенность и необходимость проведения анализа препаратов крови и костного мозга, предложение автоматизированных методик для решения задачи может значительно снизить затраты, связанные с трудоемким и подверженным ошибкам процессом ручного просмотра изображения [1–3].

На современном этапе развития науки и техники глубокое обучение продемонстрировало значительный рост точности анализа изображений для задач обнаружения злокачественных новообразований. Глубокое обучение – одна из наиболее современных и широко используемых областей машинного обучения, которая позволяет компьютерам обрабатывать и изучать данные, а также понимать данные в терминах иерархии. Для изучения и анализа данных необходимо наличие аннотированных и верифицированных наборов данных [4].

Аннотирование медицинских изображений является трудоемким процессом, отнимающим много времени, а в некоторых случаях и сложным из-за разногласий между авторами комментариев. Многие медицинские изображения, которые подвержены вариативности между экспертами делающих разметку, например окрашивание при патологии, обычно требуют трех независимых экспертных аннотаций для достоверной, надежной маркировки. Следовательно, создание наборов данных является дорогостоящим и трудоемким процессом [1, 5].

Цель работы – разработка системы формирования диагностического заключения с использованием нейронных сетей глубокого обучения в онкогематологии.

## Материалы и методы

Визуальный интерфейс разработанной системы представлен на рис. 1.

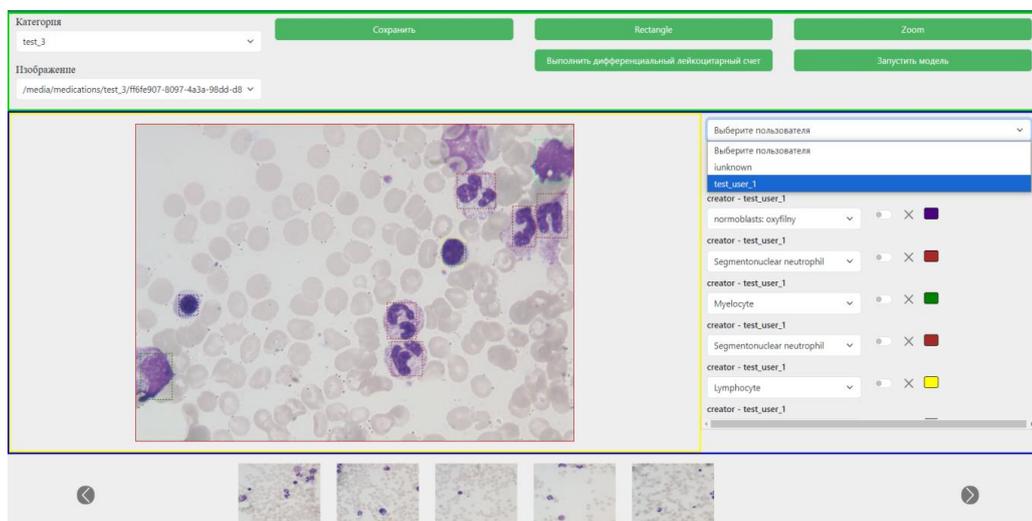


Рис. 1. Системы формирования набора данных с применением глубокого обучения в онкогематологии

Система разработана в виде интернет приложения. За автоматизацию процесса отвечает обученная модель на базе архитектуры YOLOv8. Для обучения применялась выборка изображений ядродержащих клеток костного мозга [6]. Набор содержит 14 классов объектов: Лимфоцит (657), Метамиелоцит (191), Моноцит (201), Миелоцит (249), Нормобласты (500), Палочкоядерный нейтрофил (164), Сегментоядерный нейтрофил (476), Бласт (10163), Промиелоцит (4), Эозинофил (78), Базофил (3), Магакариоцит (1), Артефакты (5), плазматическая клетка (13). Балансировка классов помимо добавления вырезанных и обработанных изображений ядер клеток, включала пространственные преобразования. Выборка разделялась на обучающую, валидационную и тестовую в соотношении 80/10/10.

### Экспериментальные исследования

По результатам предварительных исследований архитектура нейросети показала свою эффективность в решении задач выявления, выделения и классификации ядродержащих клеток костного мозга. Процесс обучения нейронной сети с аугментацией на основе изменения масштаба, размера объекта, изменения яркости, контраста, размытия и отображения по вертикали, а также дополнительной обработки данных в виде тайлирования представлен на рис. 2.

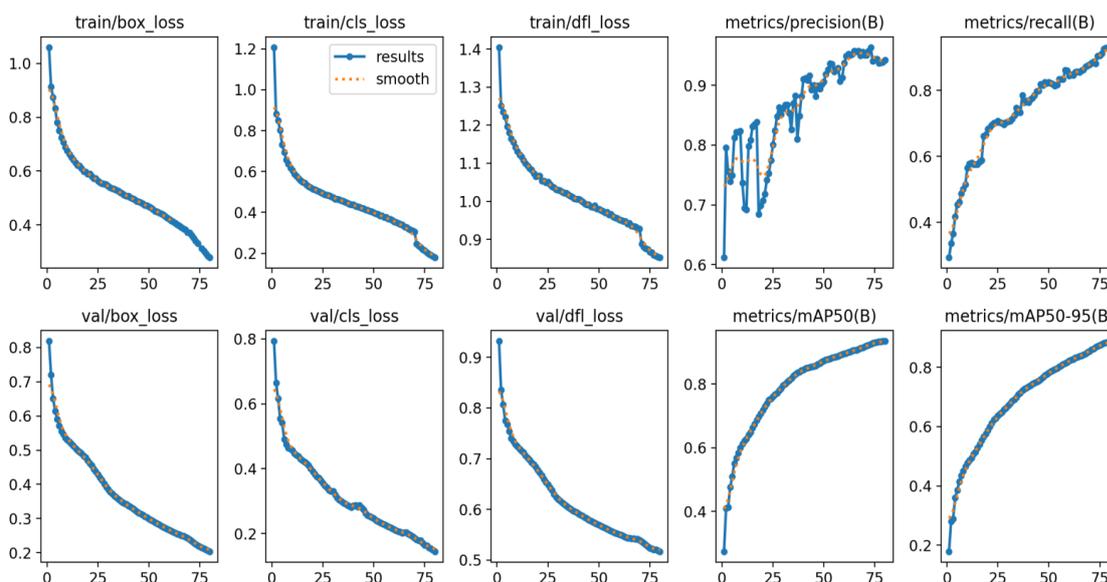


Рис. 2. Процесс обучения нейронной сети с аугментацией на основе изменения масштаба, размера объекта, изменения яркости, контраста, размывтия и отображения по вертикали, а также дополнительной обработки данных в виде тайлирования

Получены следующие характеристики: точность (precision) – 93 %, F1 – метрика 91 %, mAP@50-95 – 88 %.

Для сравнения результатов работы системы автоматизации на основе глубокого обучения и эксперта, был применен коэффициент Каппа. Рассчитав коэффициент Каппы, получили значение 0.68. Данное значение указывает на умеренное согласие между экспертом и обученной моделью. Коэффициент Каппы от 0.61 до 0.80 считается умеренным, а от 0.81 до 1.00 – хорошим. Таким образом, полученный коэффициент Каппы 0.68 указывает на то, что согласие между экспертом и обученной моделью является умеренным.

### Заключение

Работа посвящена формированию диагностического заключения с использованием нейронных сетей глубокого обучения в онкогематологии. Проведено экспериментальное исследование в ходе, которого для оценки согласованности диагностического заключения полученного экспертом и обученной моделью рассчитан коэффициент Каппа, составивший 0.68.

Дальнейшее развитие работы будет направлено на повышение уровня согласованности результатов работы обученной модели и результатов, полученных экспертом.

## *Список литературы*

1. Kreiss L., Jiang S., Li X. [et al.]. Digital staining in optical microscopy using deep learning a review // *Photonix*. 2023. Vol. 4. doi: 10.1186/s43074-023-00113-4
2. Fazeli S., Samiei A., Lee T. D., Sarrafzadeh M. Beyond Labels: Visual Representations for Bone Marrow Cell Morphology Recognition // *ArXiv*. URL: <https://arxiv.org/abs/2205.09880>
3. Yao J., Huang X., Wei M. [et al.]. High-Efficiency Classification of White Blood Cells Based on Object Detection // *Journal of Healthcare Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–11.
4. Shree K. D., Logeswari S. ODRNN: optimized deep recurrent neural networks for automatic detection of leukaemia // *Signal Image Video Process*. 2024. Vol. 18. P. 4157–4173.
5. Rehman A., Meraj T., Minhas A. M. [et al.]. A Large-scale Multi Domain Leukemia Dataset for the White Blood Cells Detection with Morphological Attributes for Explainability // *ArXiv*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2405.10803>
6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621283 Российская Федерация. База данных клеток костного мозга больных острым лимфобластным лейкозом / Поляков Е. В., Тупицын Н. Н., Серебрякова И. Н., Палладина А. Д. ; заявитель и правообладатель Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – № 2023620945 ; заявл. 06.04.2023 ; опубл. 20.04.2023, Бюл. № 4.

УДК 621.391.26

## **МОДЕЛЬ БИОИМПЕДАНСА ДЛЯ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ИМПЕДАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Андрей Вадимович Серебровский<sup>1</sup>,  
Никита Александрович Корсунский<sup>2</sup>,  
Антон Викторович Лях<sup>3</sup>,  
Ольга Анатольевна Кныш<sup>4</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup>Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия*

<sup>1</sup>grafjj@yandex.ru

<sup>2</sup>cor.nick2013@yandex.ru

<sup>3</sup>antonavr@yandex.ru

<sup>4</sup>ol.knish@yandex.ru

**Аннотация.** Предложена модель биоимпеданса для многоэлектродных биоимпедансных преобразователей. Модель позволяет получить дес-

крипторы для классификаторов медицинского риска с учетом индивидуальных параметров импеданса человека при моночастотном и поличастотном биоимпедансном анализе.

**Ключевые слова:** биоимпеданс, матрица электродов, классификатор медицинского риска

## BIOIMPEDANCE MODEL FOR MULTI-ELECTRODE IMPEDANCE TRANSDUCERS

Andrey V. Serebrovsky<sup>1</sup>, Nikita A. Korsunsky<sup>2</sup>,  
Anton V. Lyakh<sup>3</sup>, Olga A. Knysh<sup>4</sup>

*<sup>1,2,3,4</sup>South-West State University, Kursk, Russia*

<sup>1</sup>grafjj@yandex.ru, <sup>2</sup>cor.nick2013@yandex.ru, <sup>3</sup>antonavr@yandex.ru,  
<sup>4</sup>ol.knish@yandex.ru

**Abstract.** A bioimpedance model for multielectrode bioimpedance transducers is proposed. The model allows obtaining descriptors for medical risk classifiers taking into account individual human impedance parameters in monofrequency and polyfrequency bioimpedance analysis.

**Keywords:** bioimpedance, electrode array, medical risk classifier

Для построения классификаторов медицинского риска (МР) на основе биоимпедансного анализа необходимо иметь технологии, позволяющие из сырых данных биоимпедансных исследований получить дескрипторы, которые могут быть использованы в качестве входного вектора классификатора МР [1–4]. Для получения биоимпедансных изображений для классификации медицинского риска (МР) используют многоэлектродные импедансные преобразователи [5]. На рис. 1 в качестве примера показана матрица электродов, которая используется в классификаторах риска заболеваний молочной железы (МЖ). При этом в качестве сигнальных электродов используются электроды матрицы, которые непосредственно контактируют с поверхностью кожи МЖ. Индифферентный электрод может быть прикреплен к любой конечности, как это показано на рисунке 1 [5]. Эквивалентная схема рис. 2 соответствует импедансу  $Z_2$ , показанному на рис. 1.

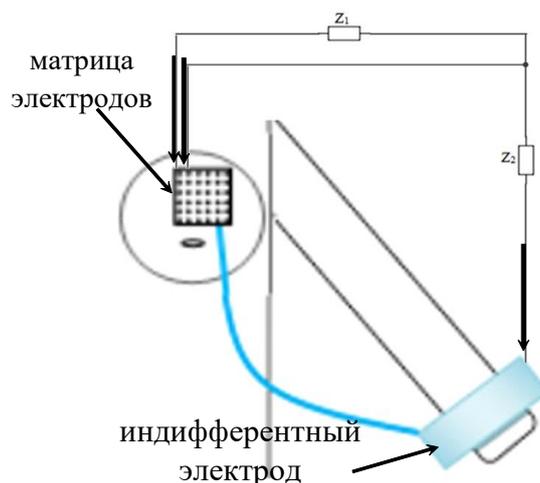


Рис. 1. Схема измерения биоимпеданса молочной железы

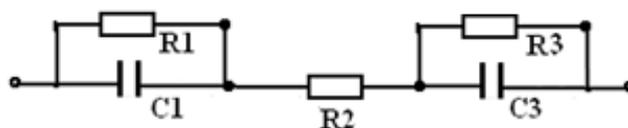


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема биоматериала

В соответствии с законами электротехники выражение для эквивалентного импеданса, приведенного на рис. 2, после выделения активной  $a(\omega)$  и реактивной  $b(\omega)$  составляющих импеданса имеет вид [6, 7]:

$$a(\omega) = \left( R_2 + \frac{R_1}{1 + \omega^2 R_1^2 C_1^2} + \frac{R_3}{1 + \omega^2 R_3^2 C_3^2} \right). \quad (1)$$

$$b(\omega) = -\omega \left( \frac{R_1^2 C_1}{1 + \omega^2 R_1^2 C_1^2} + \frac{R_3^2 C_3}{1 + \omega^2 R_3^2 C_3^2} \right). \quad (2)$$

Алгоритм определения функций (1) и (2) для одного сочетания пар электродов представлен в [6]. После получения  $a(\omega)$  и  $b(\omega)$  для всех электродов матрицы электродов рис. 1, приступаем к определению параметров модели  $Z_2$  для каждого из этих электродов. Алгоритм для определения параметров моделей рис. 2 рассмотрен в [4, 7]. Этот алгоритм предусматривает решение системы нелинейных уравнений, полученных на основе уравнений (1) и (2), итерационными методами.

Практика решения таких уравнений показала, что при отсутствии дополнительной информации о параметрах модели имеем множество решений, из которых необходимо выбрать оптимальное. При этом возникают определенные трудности при распределении импеданса по RC – двухполюсникам.

Так как матричный электрод и индифферентный электрод имеют разную конструкцию, то очевидно, что в модели импеданса (1) и (2) параметры модели  $C_1R_1$  и  $C_3R_3$  существенно отличаются. В этом случае целесообразно сначала определить параметры первого двухполюсника, соответствующего матричному электроду, а затем параметры второго двухполюсника, соответствующего индифферентному электроду.

Для понимания такого подхода рассмотрим рис. 1. Между парой матричных электродов включаем эквивалентное сопротивление  $Z_1$ . Его также, как и  $Z_2$ , можно представить в виде двух последовательно соединенных двухполюсников. Но, в отличие от  $Z_2$ , параметры этих двухполюсников можно принять идентичными, так как они расположены на малом расстоянии друг от друга. При этом активным сопротивлением  $R_2$  в уравнении (1) можем пренебречь по той же причине.

На рис. 3 представлена схема определения импедансов  $Z_1$  и  $Z_2$  согласно рисунку 1. Вначале ключ SA находится в положении 1 и измеряется биоимпеданс  $Z_1$  между парой матричных электродов.

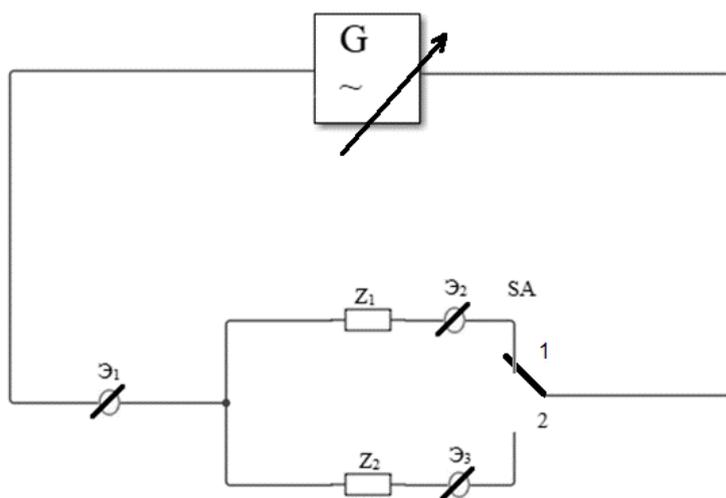


Рис. 3. Схема измерения импедансов  $Z_1$  и  $Z_2$

Для определения параметров импеданса  $Z_1$  уравнения (1) и (2) запишутся следующим образом:

$$a(\omega) = \left( \frac{2R_1}{1 + \omega^2 R_1^2 C_1^2} \right). \quad (3)$$

$$b(\omega) = -\omega \left( \frac{2R_1^2 C_1}{1 + \omega^2 R_1^2 C_1^2} \right). \quad (4)$$

Анализируя уравнения (3) и (4) приходим к выводу, что для построения параметрической модели  $Z_1$  необходимо определить только  $C_1$ , которое может быть определено из квадратных алгебраических уравнений, полученных из уравнений (3) и (4). Однако эти решения нуждаются в оптимизации, так как каждая частота анализа в общем случае даст свое значение емкости  $C_1$ . Для оптимизации ее значений существует множество методов, в том числе и статистических. В данной работе для оптимизации значений  $C_1$  используем многослойную нейронную сеть прямого распространения сигнала [1]. Емкость  $C_1$  определяется посредством искусственной нейронной сети (ИНС). Вначале определяется динамический диапазон резистора  $R_1$  динамический диапазон  $C_1$ . Технология его определения изложена в работе [5]. Затем определяется частотный диапазон тока зондирования. Здесь надо выбрать не только границы частотного диапазона, но и контрольные точки на частотной оси, на которых определяется импеданс модели. К сожалению, в научно-технической литературе мало уделено внимания этому вопросу. Поэтому исходим из наличия технических средств, которые позволяют построить измерительный комплекс в выбранном диапазоне частот.

После этого формируются РС двухполюсники со случайными параметрами, выбранными из установленных динамических диапазонов независимых переменных, определяются их параметры  $a(\omega_i)$  и  $b(\omega_i)$ , которые в данном случае так же являются независимыми переменными, и строятся таблицы объект-признак, в которых в качестве цели выступает значение емкости  $C_1$ .

ИНС прямого распространения сигнала формируется согласно [8]. Учитывая, что ИНС работает не в режиме классификатора, а в режиме аппроксиматора, на выходе имеем один нейрон с линейной функцией активации. Если на входы ИНС подать вектор, компоненты которого являются отсчетами графика Коула, то на выходе ИНС должно появиться значение соответствующего компонента модели многозвенного пассивного двухполюсника.

Для управляемого обучения пользователю требуется самостоятельно подготовить набор требуемых обучающих данных. Они представляют собой входные данные (множество триад  $R_i$  и  $a(\omega_i)$  и  $b(\omega_i)$ ) и соответствующий им выход (Цель) – значение  $C_i$ . Затем ИНС обучается с помощью алгоритма управляемого обучения, при котором используются данные для корректировки весов сети и ее пороговые значения для того, чтобы максимально уменьшить ошибку прогноза на обучающем множестве [8].

Для построения модели  $Z_2$  ключ SA рис. 3 устанавливается в положение 2. Учитывая, что параметры первого двухполюсника были определены в процессе эксперимента с ключом SA в положении 1, то необходимо только определить параметры модели  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_3$ .

При определении параметров эквивалентной схемы импеданса  $Z_2$  экспериментально определяем сопротивление двухполюсника на постоянном токе. Это сопротивление согласно эквивалентной схеме равно  $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3$ . Если  $R_{\text{общ}}$  определяется экспериментально, то в качестве априорной информации используем значение  $R^* = R_{\text{общ}} - R_1$ .

Параметры  $C_3$  и  $R_3$  определяем по способу, аналогичному определению параметра  $C_1$ . В отличие от ИНС для определения параметров  $Z_1$ , у ИНС для определения параметров двухполюсника  $Z_2$  будет два выхода, а вектор Цель будет двухкомпонентный. Получив соответствующие параметры модели импеданса, можем построить структуру ИНС, предназначенную для классификации МР.

Предложенная модель позволяет определять параметры двухполюсника, эквивалентного биоимпедансу между сигнальным и индифферентным электродами, которые используются в качестве дескрипторов для классификатора медицинского риска при моночастотном и поличастотном биоимпедансном анализе.

### *Список литературы*

1. Шаталова О. В. Интеллектуальные системы мониторинга медицинских рисков с учетом биоимпедансных исследований : монография. Курск : Юго-Западный гос. ун-т, 2020. 356 с.
2. Шаталова О. В., Стадниченко Н. С., Ефремов М. А. [и др.]. Технологии биоимпедансной спектроскопии в системах поддержки принятия решений при диагностике социально значимых заболеваний //

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 4. С. 148–174. doi: 10.21869/2223-1536-2023-13-4-148-174.

3. Шаталова О. В., Серебровский А. В., Стадниченко Н. С. [и др.]. Биомедицинская спектроскопия в классификаторах функционального состояния органов и систем человека, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2023. Т. 22, № 2. С. 100–113. doi: 10.36622/VSTU.2023.22.2.015

4. Мирошников А. В., Стадниченко Н. С., Шаталова О. В., Филист С. А. Модели импеданса биоматериала для формирования дескрипторов в интеллектуальных системах диагностики инфекционных заболеваний // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8, № 4. С. 1–14. doi: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.018

5. Серебровский А. В., Шаталова О. В., Лях А. В. [и др.]. Мульти-modalный классификатор риска рака молочной железы на основе анализа импеданса биоматериала // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. № 14 (2). С. 142–159. doi: 10.21869/2223-1536-2024-14-2-142-159

6. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Ефремов М. А. [и др.]. Алгоритм оптимизации модели Войта в классификаторах функционального состояния живых систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 2. С. 59–75. doi: 10.21869/2223-1536-2022-12-2-59-75

7. Мирошников А. В., Шаталова О. В., Стадниченко Н. С. Классификации 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. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_44735222\\_30107400.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44735222_30107400.pdf)

8. Кудрявцев П. С., Кузьмин А. А., Савинов Д. Ю. [и др.]. Моделирование морфологических образований на рентгенограммах грудной клетки в интеллектуальных диагностических системах медицинского назначения // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. № 3 (39). С. 109–120.

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИ ГАВРИЛЬЯКА – НЕГАМИ

Юрий Геннадьевич Смирнов<sup>1</sup>,  
Валерия Юрьевна Мартынова<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>smirnovyug@mail.ru

<sup>2</sup>lynxbax@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается обратная задача идентификации параметров модели Гаврильяка – Негами. Данная модель применяется для раннего обнаружения новообразований в молочной железе в рамках метода диэлектрической спектроскопии. Описан численный метод решения указанной обратной задачи.

**Ключевые слова:** модель Гаврильяка – Негами, обратная задача, гетерогенная диэлектрическая структура, импедансная спектроскопия

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по гранту государственного задания (Рег. № 124020200015-7).

## NUMERICAL SOLUTION OF THE INVERSE PROBLEM FOR THE GAVRILIAK – NEGAMI MODEL

Yuri G. Smirnov<sup>1</sup>, Valeria Yu. Martynova<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>smirnovyug@mail.ru

<sup>2</sup>lynxbax@mail.ru

**Abstract.** The inverse problem of identification of parameters of the Gavrilyak – Negami model is considered. This model is used for early detection of neoplasms in the mammary gland in dielectric spectroscopy. A numerical method for solving this inverse problem is described.

**Keywords:** Gavriliak – Negami model, inverse problem, heterogeneous dielectric structure, impedance spectroscopy

**Funding:** the work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the grant of the State Assignment (Reg. № 124020200015-7).

Модель Гаврильяка – Негами [1] успешно применяется в процессе изучения диэлектрических структур с инородными включениями. Например, данная модель применима для раннего обнаружения новообразований в молочной железе в рамках метода диэлектрической спектроскопии. Выбранная для изучения в данной работе модель имеет следующий вид

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{\left[1 + (i\omega\tau_0)^{1-\alpha}\right]^{1-\beta}},$$

где  $\varepsilon_1$  – вещественная часть диэлектрической проницаемости;  $\varepsilon_2$  – диэлектрические потери;  $\varepsilon_s$  – статическая диэлектрическая проницаемость;  $\varepsilon_\infty$  – высокочастотная диэлектрическая проницаемость;  $\alpha, \beta \in [0,1]$  – вещественные коэффициенты;  $\tau_0$  – постоянная времени релаксации;  $\omega$  – круговая частота.

Пример частотной зависимости вещественной части диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1$  (черная сплошная кривая) и диэлектрических потерь  $\varepsilon_2$  (черная пунктирная кривая), соответствующих изучаемой в данной работе модели, изображен на рисунке 1. При этом использовались параметры из [2]:  $\varepsilon_s = 16.93$ ,  $\varepsilon_\infty = 3.71$ ,  $\alpha = 0.33$ ,  $\beta = 0.04$ ,  $\tau_0 = 0.0033$ .

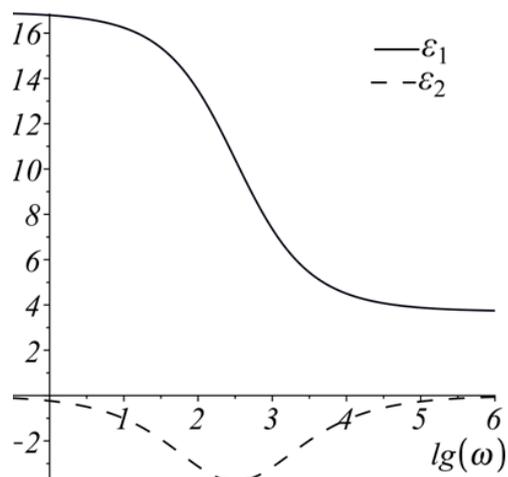


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь для модели Гаврильяка – Негами

В данной работе ставится обратная задача идентификации следующих параметров модели Гаврильяка – Негами:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\tau_0$ .

Исходными данными для решения обратной задачи в выбранной модели являются результаты измерения  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_\infty$  и комплексной диэлектрической проницаемости на трех промежуточных частотах  $\omega_j$ ,  $j = 1, 2, 3$ .

В работе [3] был предложен численный метод решения описанной выше обратной задачи идентификации вещественных коэффициентов и постоянной времени релаксации модели Гаврильяка – Негами, который состоит из двух этапов. Первый этап является численным, а на втором этапе искомые параметры определяются аналитически с использованием результата, полученного на первом этапе.

Далее опишем предложенный численный метод. На первом этапе необходимо численно решить уравнение:

$$F(\beta_0) - B = 0, \quad (1)$$

где  $\beta_0 = (1 - \beta)^{-1}$  – искомый параметр,  $B = \ln \frac{\omega_3}{\omega_2} \left( \ln \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^{-1}$  – вещественная постоянная,  $\omega_j$  ( $j = 1, 2, 3$ ) – круговые частоты, которые использовались при измерении упомянутых выше исходных данных, функция  $F$  имеет вид

$$F(\beta_0) = \operatorname{Ln} \frac{A_3^{\beta_0} - 1}{A_2^{\beta_0} - 1} \left( \operatorname{Ln} \frac{A_2^{\beta_0} - 1}{A_1^{\beta_0} - 1} \right)^{-1},$$

комплексные постоянные  $A_j$  вычисляются следующим образом

$$A_j = \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{\varepsilon(\omega_j) - \varepsilon_\infty},$$

где  $\varepsilon(\omega_j)$  – результаты измерения комплексной диэлектрической проницаемости на трех промежуточных круговых частотах  $\omega_j$ ,  $j = 1, 2, 3$ .

Стоит отметить, что искомый параметр  $\beta_0$  по определению является вещественным, а функция  $F$  при этом комплекснозначная. Поэтому уравнение (1) удобно рассматривать в виде системы уравнений, зависящих от одной переменной  $\beta_0$ ,

$$\operatorname{Re}(F(\beta_0)) - B = 0, \quad \operatorname{Im}(F(\beta_0)) = 0. \quad (2)$$

Для численного решения системы (2) в работе [3] применяется метод перемены знака. В результате на первом этапе вычисляется приближенное вещественное решение системы (2), которое обозначим как  $\beta_0^*$ .

На втором этапе все искомые в данной задаче параметры определяются аналитически по следующим формулам, описанным ниже. Вычисления лучше проводить в следующем порядке. Сначала восстанавливается вещественный коэффициент  $\beta$  по формуле

$$\beta = 1 - (\beta_0^*)^{-1}.$$

Затем вычисляется промежуточное значение  $\alpha_0$  по формуле

$$\alpha_0 = \ln \frac{\omega_2}{\omega_1} \left( \operatorname{Ln} \frac{A_2^{\beta_0^*} - 1}{A_1^{\beta_0^*} - 1} \right)^{-1}.$$

Далее еще два промежуточных значения, необходимые для вычисления постоянной времени релаксации, находятся по формулам:

$$Q = \operatorname{Ln}(i\omega_1) - \alpha_0 \operatorname{Ln}(A_1^{\beta_0^*} - 1) \text{ и } T_\alpha = \left( \exp(Q\alpha_0^{-1}) \right)^{-1}.$$

В результате вещественный коэффициент  $\alpha$  и постоянная времени релаксации  $\tau_0$  восстанавливаются по формулам:

$$\alpha = 1 - \alpha_0^{-1}, \quad \tau_0 = T_\alpha^{\alpha_0}.$$

Используя описанный численный метод, можно получить корректное решение обратной задачи идентификации вещественных коэффициентов и постоянной времени релаксации модели Гаврильяка – Негами при внесении небольших значений погрешности в исходные данные (см. результаты расчетов в [3]). В указанной работе вещественные и мнимые части диэлектрических проницаемостей, используемых в качестве исходных данных, имели погрешность около 0,05 %.

### *Список литературы*

1. Havriliak S., Negami S. A complex plane representation of dielectric and mechanical relaxation processes in some polymers // Polymer. 1967. № 8. P. 161–210.

2. Перфильев Р. О., Копосов Г. Д., Волков А. С. Нахождение параметров модели Гаврильяка – Негами для частотной дисперсии диэлектрической проницаемости // Физика. Технологии. Инновации (Секция 1) : тез. докладов IV Междунар. молодежной науч. конф. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 155–156.

3. Смирнов Ю. Г., Кузьмин А. В., Баранов В. А. Решение обратной задачи для модели Гаврильяка – Негами при обнаружении новообразований молочной железы методом импедансной спектроскопии // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2024. № 2. С. 3–12.

УДК 519.688

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ АНГИОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

**Артем Юрьевич Сухомлинов**

*Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия*

ar.sykhomlinov@gmail.com

**Аннотация.** Сформулирована основная цель разработки автоматизированной системы обработки ангиографических изображений. Приведены примеры типичных ангиографических изображений. Сформулированы основные задачи, которые решает автоматизированная система обработки ангиографических изображений.

**Ключевые слова:** коронарная ангиография, рентгеновское изображение, проекции артерий

## **AUTOMATED SYSTEM FOR PROCESSING ANGIOGRAPHIC IMAGES**

**Artem Yu. Sukhomlinov**

*South-West State University, Kursk, Russia*

ar.sykhomlinov@gmail.com

**Abstract.** The main goal of developing an automated system for processing angiographic images is considered in the article. Examples of typical angiographic

images are given. The main tasks that the automated system for processing angiographic images solves are formulated.

**Keywords:** coronary angiography, x-ray image, artery projections

Ангиография является одним из наиболее информативных методов диагностики ИБС. Она позволяет визуализировать коронарные артерии, которые питают сердце кровью, и оценить их состояние.

Показания к проведению ангиографии: стабильная стенокардия (особенно при неэффективности медикаментозного лечения), нестабильная стенокардия (для оценки тяжести состояния и выбора тактики лечения), инфаркт миокарда (для выявления причин инфаркта и планирования дальнейшего лечения), перед операциями на сердце (для оценки состояния коронарных артерий).

Преимущества ангиографии: высокая точность – позволяет получить детальную информацию о состоянии коронарных артерий, минимальная инвазивность – процедура проводится через небольшой прокол в коже, быстрое восстановление – после процедуры пациент может вернуться к привычному образу жизни уже через несколько часов.

При автоматизации обработки ангиографических изображений очень важна задача определения диаметра кровеносного сосуда. В каждой конкретной точке артерии можно сложную форму кровеносного сосуда с определенным упрощением заменить цилиндром. Тогда задача определения диаметра сосуда в ангиографии сводится к задаче определения диаметра цилиндра по проекции. Точное решение этой задачи зависит от того, какая именно проекция цилиндра дана (вид сверху, вид спереди, изометрия и т.д.).

Основные случаи и методы решения:

1. Вид сверху (или горизонтальная проекция):

Если цилиндр расположен перпендикулярно плоскости проекции: На виде сверху цилиндр будет изображен в виде окружности. Диаметр этой окружности и будет диаметром цилиндра (рис. 1).

2. Вид спереди (или фронтальная проекция):

Если цилиндр расположен перпендикулярно плоскости проекции: На виде спереди цилиндр будет изображен в виде прямоугольника. Длина стороны прямоугольника, перпендикулярной оси цилиндра, будет равна диаметру цилиндра (рис. 1).

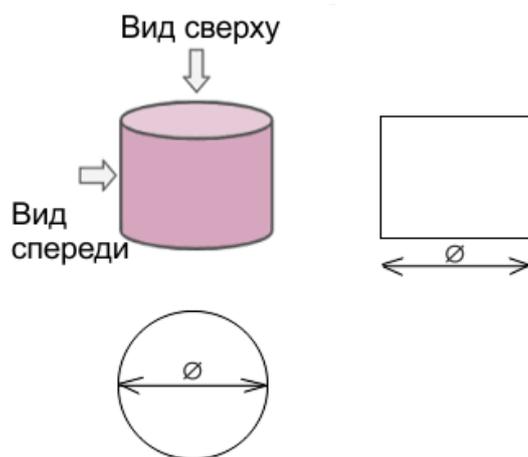


Рис. 1. Определение диаметра цилиндра по горизонтальной и фронтальной проекциям.

3. Другие проекции: для других видов проекций (аксонометрических, перспективных, изометрических) метод определения диаметра будет зависеть от конкретного типа проекции и наличия дополнительной информации.

Необходимые условия для точного определения: чёткое изображение – проекция должна быть четкой и без искажений, известная ориентация – необходимо знать, как цилиндр расположен относительно плоскостей проекций, дополнительная информация – в некоторых случаях может потребоваться информация о длине оси цилиндра, размерах основания или других параметрах.

При ангиографии эти необходимые условия часто не соблюдаются, так как рентгеновская съемка не всегда приводит четкое изображение и без искажений, ориентация артерий не известна и постоянно меняется как в пространстве, так и во времени (даже во время съемки), вследствие получения изображений на работающем сердце. Поэтому диаметр артерий в автоматизированных системах обработки ангиографических изображений определяется локально в небольшом окне и приблизительно, как и в других подобных системах обработки медицинских изображений [1, 2]. На рис. 2 приведен пример ангиографического изображения артерии, которая сначала проходит практически в плоскости наблюдения, потом перпендикулярно плоскости наблюдения, затем снова в плоскости, потом снова перпендикулярно и т.д. В то время, когда артерия проходит в плоскости наблюдения, ее проекция представляется в виде полосы, а когда перпендикулярно плоскости наблюдения, то ее проекция представляется в виде окружности.

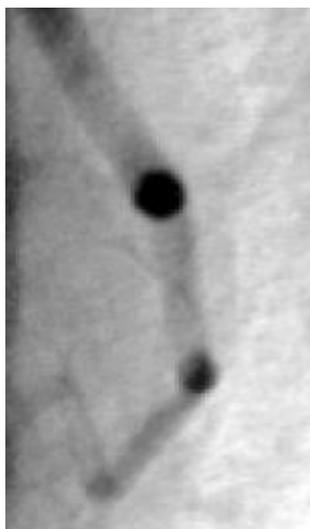


Рис. 2. Ангиографическое изображение артерии, которая сначала проходит в плоскости наблюдения затем перпендикулярно ей и т.д.

Заменять артерию цилиндром можно с достаточно большим допущением и только в целях моделирования. Особенно большие погрешности от такой замены возникают в точках бифуркации артерий – местах разделения артерий на более мелкие артерии. Определение места бифуркации артерии на ангиографическом изображении – одна из ключевых задач автоматизированных систем обработки ангиографических изображений. Точное определение места бифуркации необходимо для правильного моделирования артерии и точного измерения диагностических параметров (рис. 3).

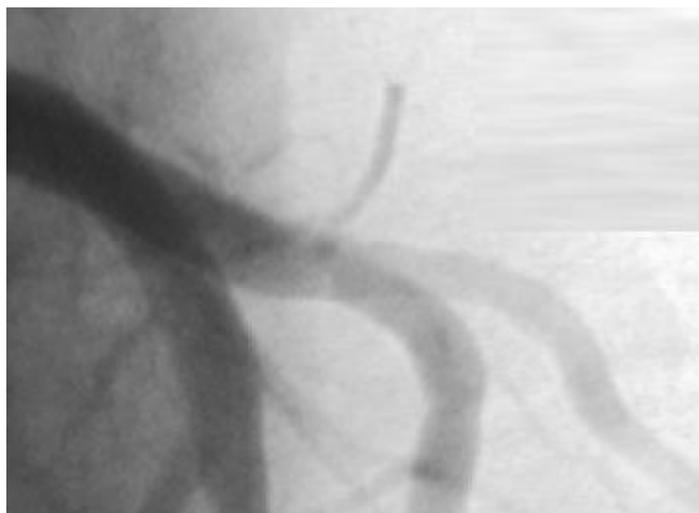


Рис. 3. Пример бифуркации артерии на две основные ветви, а затем верхняя и нижняя ветви делятся еще на две ветви и т.д.

Другой важной задачей автоматизированных систем обработки ангиографических изображений является построение графика длина–диаметр коронарных артерий. График, отражающий зависимость длины от диаметра коронарных артерий, представляет собой визуальное представление анатомических характеристик этих сосудов. Он позволяет оценить, как меняется диаметр артерии по мере ее протяженности. Сравнение данных, полученных по графику, с нормативными значениями позволяет оценить, соответствует ли исследуемая артерия анатомической норме. Отклонения от нормы могут свидетельствовать о наличии патологических процессов: атеросклероз, воспаление, аномалии развития и другие. При планировании хирургических или эндоваскулярных вмешательств на коронарных артериях такой график позволяет оценить доступность определенных участков сосуда и выбрать оптимальную технику вмешательства. В научных исследованиях графики длины–диаметра могут использоваться для сравнения различных групп пациентов, например, здоровых и больных, или для оценки эффективности различных методов лечения.

Автоматизированный анализ таких графиков может выявить: сужения – участки с уменьшенным диаметром могут указывать на стенозы, вызванные атеросклеротическими бляшками или другими причинами; расширения – увеличение диаметра может свидетельствовать об аневризме или других патологических процессах; извилистость – изменения в кривизне сосуда могут указывать на наличие аномалий развития или приобретенных изменений; коллатеральное кровообращение – наличие дополнительных сосудов, компенсирующих недостаточное кровоснабжение.

Для построения графика необходимы данные о длине и диаметре различных сегментов коронарных артерий.

Ограничения метода автоматизированного анализа графика длина–диаметр коронарных артерий:

– **двухмерность** – график отражает только два параметра (длину и диаметр), а в реальности сосуд имеет трехмерную структуру, и его форма может быть более сложной;

– **точность измерений** – точность измерений зависит от качества изображения и метода визуализации;

– **индивидуальные особенности** – анатомические особенности коронарных артерий могут значительно варьироваться у разных людей.

Автоматизированная система обработки ангиографических изображений является полезным инструментом для визуализации и анализа данных, полученных при обследовании сердечно–сосудистой системы. Она позволяет оценить состояние сосудов, выявить патологические изменения и планировать лечение. Однако подобные инструменты имеют свои ограничения и должны использоваться в комплексе с другими методами диагностики.

### *Список литературы*

1. Малютина И. А., Кузьмин А. А., Шаталова О. В. Методы и алгоритмы анализа рентгенограмм грудной клетки, использующие локальные окна в задачах обнаружения патологий // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2017. № 3 (39). С. 131–138.
2. Филист С. А., Кондрашов Д. С., Кузьмин А. А. [и др.]. Классификация медицинских изображений на основе анализа спектров локальных окон // Медицинская техника. 2023. № 5. С. 18–20.

УДК 621.391

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПАТОЛОГИЙ НА ВИДЕОДАНЫХ ГАСТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛУДКА**

**Владимир Вячеславович Хрящев**

*Ярославский государственный университет  
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

*vhr@yandex.ru*

**Аннотация.** Приводятся результаты тестирования нейросетевого алгоритма на видеоданных с реального эндоскопического оборудования. Тестирование алгоритма проводилось по двум направлениям: исследование качества сегментации эндоскопических видеоданных, полученных с оптическим увеличением и без увеличения; исследование качества классификации эндоскопических видеоданных, полученных с оптическим увеличением и без увеличения.

**Ключевые слова:** цифровая обработка видеоизображений, гастроскопия, нейронная сеть, раннее обнаружение рака, исследование желудка

# STUDY OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS FOR DETECTING PATHOLOGIES IN VIDEO DATA OF GASTROSCOPIC STUDIES OF THE STOMACH

Vladimir V. Khryashchev

*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

vhr@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the results of testing the neural network algorithm on video data from real endoscopic equipment. The algorithm was tested in two directions: a study of the quality of segmentation of endoscopic video data obtained with and without optical zoom; a study of the quality of classification of endoscopic video data obtained with and without optical zoom.

**Keywords:** digital video processing, gastroscopy, neural network, early detection of cancer, stomach investigation

Разработка системы поддержки принятия врачебного решения в раннем обнаружении рака желудка является актуальной задачей на стыке медицины, информационных технологий и методов искусственного интеллекта [1]. Основной проблемой для ее эффективного решения является отсутствие в свободном доступе больших баз экспертно размеченных эндоскопических видеоданных, которые могли бы использоваться для обучения соответствующих нейросетевых моделей на основе методов глубокого машинного обучения. Для решения этой проблемы специалистами центра искусственного интеллекта ЯрГУ им. П. Г. Демидова совместно с врачами эндоскопического отделения Ярославской областной клинической онкологической больницы (ЯОКОБ) проведен сбор базы видеоизображений исследований желудка. Далее были проведены работы по экспертной разметке указанной базы видеоизображений с целью классификации изображений на классы: «рак», «ранний рак», «норма», «иные патологии». Проведены исследования оценки качества работы алгоритма анализа видеоданных на базе нейросетевой архитектуры EfficientDet на базе сверточной нейронной сети EfficientNetB0 [2–4].

В процессе исследований на вход обученной нейронной сети с помощью вспомогательного алгоритма подавался каждый пятый кадр из эндоскопических видеопоследовательностей, проведен-

ных в ЯОКОБ. Разрешение входного изображения составляло 300x300 пикселей. На выходе нейросетевой алгоритм выдавал координаты рамок патологической области. Также проводилась классификация указанных областей по описанным выше классам. Исследования проводились для эндоскопических видеоданных как без оптического увеличения, так и для данных с оптическим увеличением.

На этапе тестирования отбирались участки видеопоследовательностей, на которых велась запись эндоскопических исследований без увеличения. Длительность и количество кадров, для которых проводился анализ, приведены в Таблице 1.

*Таблица 1*

**Длительность и количество кадров в режиме без увеличения  
для тестовых видеопоследовательностей**

Видеофрагмент	Длительность участков в режиме без увеличения	Количество кадров, отобранных для анализа
1	23,6 сек (591 кадров)	119
2	10,6 сек (266 кадров)	54
3	24,4 сек (611 кадров)	123
4	3,4 сек (86 кадров)	18
5	4,4 сек (111 кадров)	23
6	1,6 сек (41 кадр)	9
7	2 сек (51 кадр)	11

Для оценки качества работы алгоритма сегментации использовалась метрика IoU (Intersection over Union). Для каждого видеофрагмента строилась гистограмма значений метрики IoU, где номер столбца соответствовал номеру анализируемого кадра, а высота столбца – значению IoU для данного кадра.

Также для каждого фрагмента видеопоследовательностей строились гистограммы, в которых номер столбца соответствует номеру анализируемого кадра, а высота столбцов отражает величину площади рамок сегментации, построенных экспертом и алгоритмом для данного изображения. Результаты исследований качества сегментации для участков тестовых видеофрагментов в режиме без увеличения приведены на рис. 1 и 2.

Видеофрагмент 1  
(без увеличения)

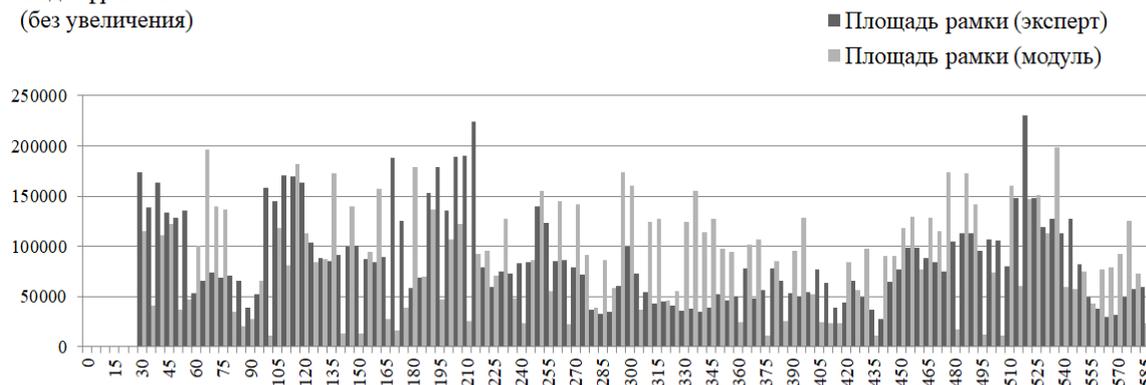


Рис. 1. Гистограмма значений площади (кв. пиксели) экспертной рамки и рамки, построенной нейросетевым модулем, для каждого пятого кадра из Видеофрагмента 1 (участок без увеличения)

Видеофрагмент 1  
(без увеличения)

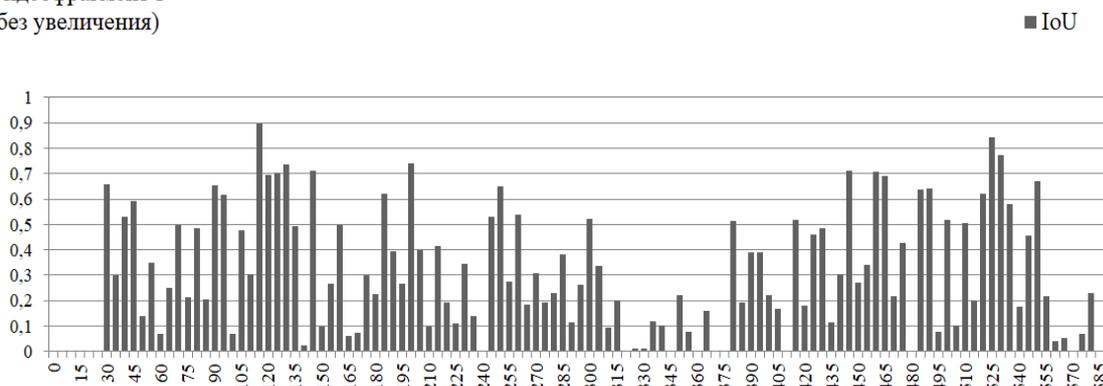


Рис. 2. Гистограмма значений метрики IoU для каждого пятого кадра из Видеофрагмента 1 (участок без увеличения)

Как видно из рис. 1, согласно экспертному мнению патологии присутствует на видеозаписи с 30 по 590 кадры включительно. При этом нейросетевой модуль также на всех указанных кадрах выделяет патологию. Из гистограммы значений метрики IoU видно, что в ряде случаев значение метрики IoU низкое или нулевое, что означает малую степень пересечения рамок эксперта и алгоритма или же отсутствие их пересечения. Тем не менее, для большинства кадров значения IoU достаточно высокие.

### *Список литературы*

1. Куваев Р. О., Никонов Е. Л., Кашин С. В. [и др.]. Контроль качества эндоскопических исследований, перспективы автоматизи-

рованного анализа эндоскопических изображений // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2013. № 2. С. 51–56.

2. Хрящев В. В. Система поддержки принятия врачебного решения с использованием модуля искусственного интеллекта для эндоскопических исследований желудка // Медицинская техника. 2023. № 6. С. 44–47.

3. Хрящев В. В., Приоров А. Л. Использование нейронной сети EfficientDet в задаче обнаружения патологий желудка на видеоизображениях эндоскопического исследования // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 2. С. 185–192.

4. Хрящев В. В. Разработка системы поддержки принятия врачебного решения для эндоскопических исследований желудка // Цифровая обработка сигналов и ее применение (DSPА-2023) : докл. 25-й Междунар. конф. М., 2023. С. 249–253.

## 6. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

---

УДК 338

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКАЗАМИ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Валерия Викторовна Бесчастнова<sup>1</sup>,  
Мария Геннадьевна Кузьмина<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>valeriya.b2001@mail.ru

<sup>2</sup>lu-mariya@mail.ru

**Аннотация.** Представлены примеры информационных технологий, которые можно применять на каждом этапе процесса управления заказами. Описан функционал работ по использованию информационных технологий для автоматизации управления заказами на мебельном предприятии. Создана контекстная диаграмма этапов управления заказами на мебельном производстве.

**Ключевые слова:** информационные технологии, мебельное производство, автоматизация, заказы, контекстная диаграмма

### THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR AUTOMATION OF ORDER MANAGEMENT IN FURNITURE PRODUCTION

Valeria V. Beschastnova<sup>1</sup>, Maria G. Kuzmina<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>valeriya.b2001@mail.ru

<sup>2</sup>lu-mariya@mail.ru

**Abstract.** Examples of information technologies that can be used at each stage of the order management process are presented. The functional of the work of using information technology for automation in a furniture company is described. A contextual diagram of the stages of order management in furniture production has been created.

**Keywords:** information technology, furniture manufacturing, automation, orders, context diagram

Информационные технологии – это неотъемлемая часть большинства процессов, связанных с экономической, управленческой и производственной деятельностью любого предприятия.

По степени использования средств технологии можно классифицировать на традиционные и современные. К современным информационным технологиям (ИТ) относят автоматизированные ИТ [1].

В мебельном производстве имеют место ряд бизнес-процессов, которые целесообразно автоматизировать, а именно: управление заказами, учет и управление производством, снабжение и поставки, складской учет и управление финансами.

В управлении заказами применительно к рассматриваемой отрасли будут входить процессы: определение номенклатуры заказа, расчет стоимости заказа, выявление конструктивных характеристик заказа, хранение и доставка заказа, документирование и др.

Рассмотрим конкретные этапы управления заказами:

1. Управление данными о заказах.
2. Расчет заказов.
3. Запуск заказов.
4. Моделирование процессов работы с заказом.

Программное обеспечение (ПО) для автоматизации управления данными о заказах необходимо для работы администратора, замерщика и директора. Система организации должна решать следующие проблемы: формирование заказа, хранение данных о заказе, предоставление информации исполняющим сотрудникам, возможность ведения аналитики, отчетности.

Для процесса управления заказами подойдут следующие программы:

1. **OAS**. Бесплатная система помогает регистрации заказов, распределению заказов по датам, заказчикам, адресам, стоимости и т.д. Умеет формировать полученную статистику в графики.

2. **Битрикс24**. Помимо коммуникации между сотрудниками, назначения задач и поручений, в системе желательно вести документооборот и формировать отчетность.

3. **Talk-Me**. Программа имеет чат с искусственным интеллектом, способна анализировать активность на сайте. Помогает определить целевую аудиторию, увеличивает продажи.

4. **Ramex**. Программа позволяет закрепить заказы за сотрудниками, назначить замеры и рекламации, обозначить даты изготовления продукции.

Процесс расчета заказов связан с определением необходимого объема заказа и его стоимостью. Автоматизация позволяет уменьшить переменные издержки, издержки хранения и доставки. Использование специализированного ПО может решить ряд проблем, начиная от оформления заказа до успешного получения клиентом его товара [2].

Рассмотрим некоторые конкретные технологии, предлагающие свои решения на этапах управления:

1. **RetailCRM**. Все заказы, сделанные на различных площадках и мессенджерах, попадают в общий список и распределяются между операторами. Это облегчает управление интернет-заказами.

2. **Pingdelivery**. Диспетчер распределяет заказы между курьерами и отслеживает путь товара. Облегчает доставку заказов.

3. **Планфикс**. Помогает работать с задачами и поручениями, а также контролировать работу разных отделов. Облегчает управление сотрудниками.

4. **Мой склад**. Ведет складской учет, всегда показывает актуальные остатки, обрабатывает заказы и ведет документацию складского учета.

5. **1С «Управление заказами»**. Создает отчетность в электронном виде, уменьшает вероятность потери и искажений в документации, упрощает процесс составления отчетов [3].

Для автоматизации процесса запуска заказов предпочтительнее использование технологий «Интернет вещей». С их помощью предприятие может в реальном времени контролировать работу оборудования и этапы производства заказов. Благодаря собранной информации можно провести анализ производственного процесса и разработать проект по повышению эффективности, а также спрогнозировать риски отклонений и снизить процент брака.

Примером технологий «Интернет вещей» может служить ERP-система (Infor, ERPNext, Axelor, 1С:ERP, Компас). Система может не только контролировать качество стандартизированной мебельной продукции, но также настроиться на уникальные заказы. Кроме того, благодаря контролю и сбору данных на каждом этапе производства продукции, система способна эффективнее распределить ресурсы и оптимизировать бизнес-процессы [4].

Моделирование процессов заказа необходимо для более наглядного их понимания [5]. Для этого можно использовать

IDEF, UML, CASE. На рисунке 1 представлен пример контекстной диаграммы IDEF0 для этапа управления заказами в мебельном производстве.

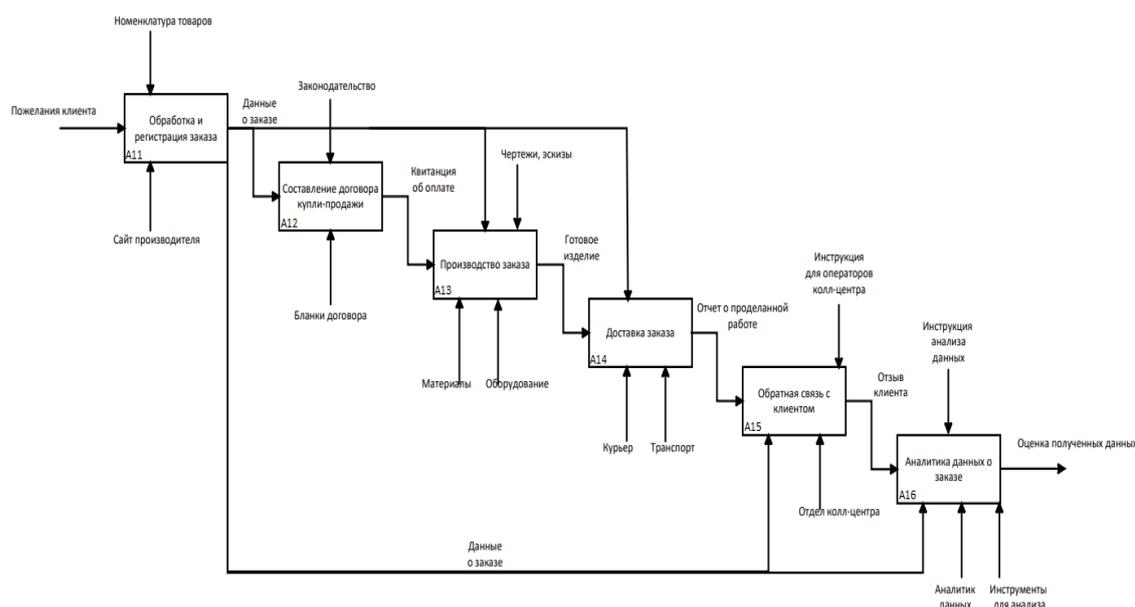


Рис. 1. Контекстная диаграмма «Управление заказами»

Использование информационных технологий значительно увеличивает эффективность и конкурентоспособность мебельных компаний. Более того, технологии уменьшают трудозатраты, снижают вероятность производственных сбоев и обеспечивают контроль на всех этапах. Использование перечисленных выше продуктов можно проводить исследования и аналитику, которые покажут главные проблемы организации и пути их исправления.

### Список литературы

1. Федотова Е. Л. Информационные технологии и системы : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. 352 с.
2. Инаркаев А. Р. Автоматизация системы мониторинга и управления технологическим процессом в мебельном производстве // МНИЖ. 2016. № 9-2 (51). С. 45–47.
3. Ласьков Д. А. Учет заказов на изготовление мебели в торговой отрасли // Экономика и социум. 2018. № 6 (49). С. 1660–1662.
4. Нерсесян А. К. Роль программного обеспечения в ускорении производственных процессов в мебельной индустрии // Вестник науки. 2024. № 9 (78). С. 37–50.
5. Кузнецов Г. Е. Проектирование внедрения ERP-системы в торговом предприятии // IN SITU. 2023. № 8. С. 18–20.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МЕТРИКИ В МНОГОСКАЧКОВЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

**Егор Дмитриевич Гурьянов**

*Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия*

*guryanoved@yandex.ru*

**Аннотация.** Представлено описание интегральной метрики, разработанной на основе метода взвешенных сумм, и рассматривается её применение для уточнения вычисления центральности узла по Кацу. Интегральная метрика рассчитывается для каждой пары узлов кластера сети с использованием следующих метрик: процент потерянных пакетов, задержка передачи сообщений, вариативность задержки, а также энергопотребление узла. Показано применение метрики для кластера беспроводной сенсорной сети. Выявленные закономерности позволяют говорить о перспективах внедрения разработанной метрики в многоскачковые беспроводные сенсорные сети.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть, интегральная метрика, центральность узла по Кацу

## APPLICATION OF THE INTEGRAL METRIC IN MULTI-HOP WIRELESS SENSOR NETWORK

**Egor D. Guryanov**

*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

*guryanoved@yandex.ru*

**Abstract.** A description of the developed integral metric based on the weighted sum method and its application to refine the calculation of the node centrality by Katz is presented. The integral metric is calculated for each pair of nodes in a network cluster using metrics: percentage of lost packets, message transmission delay, delay variability, as well as node power consumption. The application of the metric for a wireless sensor network cluster (WSN) is shown. The revealed patterns allow us to talk about the prospects of implementing the developed metric in multi-jump WSN.

**Keywords:** wireless sensor network, integral metric, Katz centrality

Активное развитие и применение беспилотных систем в последнее время продемонстрировало качественный переход от отдельного автономного аппарата к применению групп или роев беспилотных платформ. Для решения многих практических задач могут эффективно использоваться группы роботов. Например, это задачи, связанные с мониторингом крупных объектов и больших территорий [1], перевозкой или переработкой больших объемов разнородных грузов, спасательные операции [2, 3]. Как правило, при решении таких задач роботы должны функционировать в неорганизованной или плохо организованной, недетерминированной среде зачастую в сложных погодных условиях. Одной из важных задач в таких системах является разработка устойчивой и надёжной системы связи [4] между объектами группы, а также коммуникация между несколькими такими группами, выполняющими одну общую или различные задачи в привязке к одному географическому району.

Поскольку система связи подразумевает активное реконфигурирование сети, вызванное перемещением автономных платформ в пространстве, выходом отдельных роботов за пределы досягаемости сигнала, выходом из строя и т.п. возникает задача выработки метрики для возможности отслеживания состояния узла сети в любой момент времени. Такая метрика необходима, в том числе, для качественной работы алгоритма динамического переназначения маршрутизатора сети. В исследовании рассматривается интегральная метрика на основе метода взвешенных сумм, внедряемая в расчёт центральности узла по Кацу.

Интегральная метрика  $W_{(i,j)}$ , учитывает четыре параметра: процент потерянных пакетов (IPLR), задержку передачи сообщений (IPTD) между  $i$  – передающим и  $j$  – приемным узлами, вариативность задержки – джиттер –  $i, j$  (IPDV), а также энергопотребление узла ( $P_{t_i}$ ) [5].

Для сети связи, состоящей из  $n$  устройств численные значения метрики  $W_{(i,j)}$  можно представить в виде квадратной матрицы смежности  $A^W$ :

$$A^W = \begin{pmatrix} W_{0,0} & \cdots & W_{0,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n,0} & \cdots & W_{n,n} \end{pmatrix}.$$

Следует отметить, что матрица  $A^W$  не является симметричной – из-за присутствия значения энергопотребления только передающего узла, а элементы главной диагонали являются неинформативными, поэтому будем считать их равными 0. Каждый элемент матрицы вычисляем с помощью метода взвешенных сумм [6], что требует одинаковой размерности всех величин, а соответственно нормирования. Таким образом, метрика на основе четырёх параметров примет вид:

$$W_{(i,j)} = \lambda_1 IPLR + \lambda_2 IPTD_{(i,j)}^* + \lambda_3 IPDV_{(i,j)}^* + \lambda_4 Pt_i^*.$$

Согласно однокритериальной задаче математического программирования наилучшим показателем будет  $\min(W_{(i,j)})$ , при этом весовые коэффициенты  $\lambda_i$  должны соответствовать критерию:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1,$$

а их значения распределяются исследователем в зависимости от их важности. Формулировка центральности узла по Кацу из аппарата теории графов с внедрением модификации интегральной метрики примет вид:

$$C_{Katz}(i) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^n \alpha^k (A^k)_{i,j} A_{i,j}^{W*}$$

Поскольку наилучший показатель  $C_{Katz}$  есть максимальное его значение, то для верного расчёта необходимо использовать матрицу  $A^{W*}$ , где каждое значение соответствует  $1 - A_{i,j}^W$ . Таким образом, появляется возможность учёта состояния канала связи в исследуемой БСС, что более точно будет отражать текущее состояние сети. Так же можно рассчитать и периферийность узла сети, которая вытекает из формулы относительной периферийности вершины графа:

$$P_i = C_{Katz\ MAX} - C_{Katz\ i}$$

В качестве иллюстрации применения метрики можно продемонстрировать результаты натурального эксперимента, проведённого с использованием разработанного комплекса Cluster 1.0 [7]. Как

видно из рисунков 1 и 2, наиболее перспективным узлом для передачи полномочий узла-маршрутизатора после NodeID 0 является узел с NodeID 1, а затем с NodeID 4. В обозначениях на рис. 1 указано: Идентификатор узла / Модифицированная центральность / Периферийность узла.

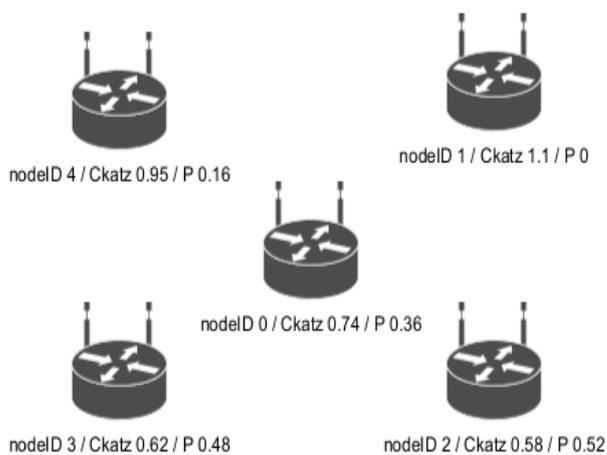


Рис. 1. Физическое расположение узлов

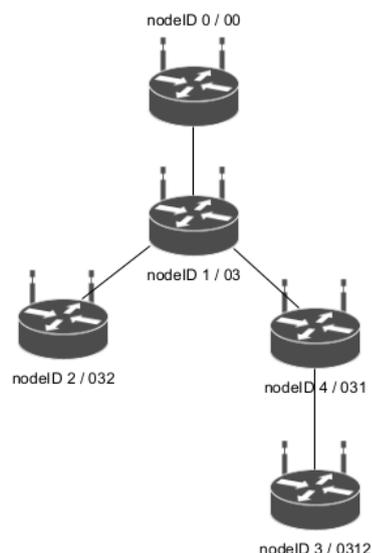


Рис. 2. Логическое соединение узлов в эксперименте

Проведенные в большом количестве натурные эксперименты продемонстрировали правильность теоретических предположений на этапе исследования. В настоящее время ведется работа над внедрением исследуемой метрики в модель узла сети для пакета моделирования NS3 и в алгоритм переназначения мастер-узла в пакете программного обеспечения Cluster 1.0

Поскольку в перспективе предполагается распространение исследуемых метрик на сети с ячеистой топологией, перспективной для исследований выглядит метрика на основе центральности по посредничеству. В таком случае центральность вершины (узла сети) рассматривается как возможность управления вершиной передачей трафика. Мера центральности основывается на частоте прохождения через узел кратчайших (геодезических) путей между всеми парами вершин. Считается, что соответствующий узел может влиять на группу узлов, поддерживая, придерживая или разрушая процесс передачи информации. Математически такая мера центральности выражается формулой:

$$C_B(k) = \sum_i \sum_j \frac{g_{i,j}(k)}{g_{i,j}} (i \neq j \neq k),$$

где  $g_{i,j}$  – количество кратчайших путей от вершины графа  $i$  до вершины  $j$ , а  $g_{i,j}(k)$  – количество кратчайших путей от  $i$  до  $j$ , проходящих через вершину  $k$  [8].

В результате проведенных исследований предложена новая метрика для узла беспроводной сенсорной сети на основе модифицированной центральности узла по Кацу. Применение модифицированной метрики позволяет более точно оценивать потенциальные возможности узла как маршрутизатора БСС, что было отмечено в ранее проведенных экспериментах [9]. Ведутся работы по внедрению механизма определения центральности узла сети в алгоритм автоматического переназначения маршрутизатора в разработанном аппаратно-программном комплексе Cluster 1.0 для автономных мобильных платформ на основе чипсета nrf24l01+ и микроконтроллеров семейства Atmega32u4.

### ***Список литературы***

1. Ping P., Petrenko Yu. N. Mesh network development project in Great Stone industry park // Системный анализ и прикладная информатика. 2016. № 1. С. 43–50.
2. Карчевский Ю. С., Пупынин В. И., Волобуева Е. В. Опыт применения беспилотных воздушных судов МЧС России при проведении аварийно-спасательных работ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. С. 338–340.
3. Мосов С., Салий С., Чубина Т., Рысбаева Г. Место и роль беспилотной авиации при ликвидации чрезвычайных ситуаций: опыт зарубежных стран // Вестник КазАТК. № 117. С. 136–151. doi: 10.52167/1609-1817-2021-117-2-136-151
4. Ананьев А. В., Иванников К. С., Филатов С. В. Основные принципы построения систем связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2022. № 125. С. 1–39.
5. Носков А. Н., Манов И. А. Разработка механизма адаптивной маршрутизации трафика в программно-конфигурируемых сетях // Моделирование и анализ информационных систем. 2015. № 22 (4). С. 521–532.

6. Гришагин В. А. Анализ многокритериальных задач оптимизации методом линейной свертки : учеб.-метод. пособие. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2021. 40 с.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611923 Российская Федерация. Пакет программного обеспечения для кластера беспроводной сенсорной сети диапазона ISM Cluster 1.0 / Гурьянов Е. Д. № 2024610827 ; заявл. 12.01.2024 ; опубл. 25.01.2024. EDN: ROCNLO

8. Щербакова Н. Г. Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. 2015. № 2 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mery-tsentralnosti-v-setyah> (дата обращения: 02.07.2024).

9. Гурьянов Е. Д., Приоров А. Л. Исследование интегральной метрики для беспроводной сенсорной сети // Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий – РЭУС-ИТ 2024 : доклады Всерос. конф. (г. Москва, 30–31 мая 2024 г.). М., 2024. С. 99–102.

УДК 004.042, 004.912

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**Сергей Валерьевич Ефанов<sup>1</sup>,  
Елена Николаевна Иванова<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Россия*

<sup>1</sup>nshysh@yandex.ru

**Аннотация.** Разработана программная вычислительная система, которая позволяет выполнить классификацию потока текстовых данных. Обработка может осуществляться в различных программных режимах. Представленная программа позволяет решить проблему анализа большого количества данных, объемы которых человек не способен не только воспринять, но и качественно проанализировать.

**Ключевые слова:** рубрикация данных, вычислительная система, процесс классификации, поток текстовых данных, кластеризация смысловых групп

# COMPUTING SYSTEM FOR AUTOMATIC CLASSIFICATION OF TEXT INFORMATION

Sergey V. Efanov<sup>1</sup>, Elena N. Ivanova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*South-West State University, Kursk, Russia*

<sup>1</sup>nshysh@yandex.ru

**Abstract.** A computing system has been developed that allows the classification of the text data stream. Processing can be performed in various program modes. The presented program allows you to solve the problem of analyzing a large amount of data, the volumes of which a person is not able not only to perceive, but also to analyze qualitatively.

**Keywords:** data categorization, computing system, classification process, text data flow, clustering of semantic groups

В настоящее время существует потребность в быстром анализе документооборота. Поиск нужной информации сейчас актуален как никогда прежде. Для автоматизации процесса нахождения требуемых данных используются специальные поисковые системы [1]. Существует множество различных систем, которые способны выполнить поиск нужных данных, но не все из них способны выполнять автоматическую обработку данных и быстро производить анализ и вывод результата [2]. При этом существует проблема в быстрой организации данных и поиске текстовой информации в режиме многозадачности [3].

Для анализа и обработки большого объема данных используют специальные рубрикаторы, время работы которых зависит от выполнения множества операций [4]. Например, наиболее трудоемкая задача – это поисковые операции, которые выявляют сходство шаблонов в тексте [5].

В данном случае под рубрикатором понимается вычислительная система, позволяющая выполнить классификацию входной текстовой информации. Обработка данных происходит на основе созданного заранее словаря элементов, которые являются поисковыми шаблонами. Поиск базируется на основе анализа текста на предмет вхождения одной или нескольких рубрик.

Каждая тема хранит в себе набор связей шаблонов и языков. В данном контексте под шаблонами понимается слово или словосочетание на естественном языке. Также шаблон может иметь сокращение.

Анализ текста основан на использовании TF-IDF векторов, которые позволяют рассчитать коэффициент сходства термина (одной единицы текста) с шаблоном. Для нахождения атрибутов тематики внутри текста используется поиск ключевых связей векторов.

Модель с образцами, которые будут применяться в поисковых операциях, загружается при старте программы. Модель с организацией данных в виде словаря элементов представлена на рис. 1.

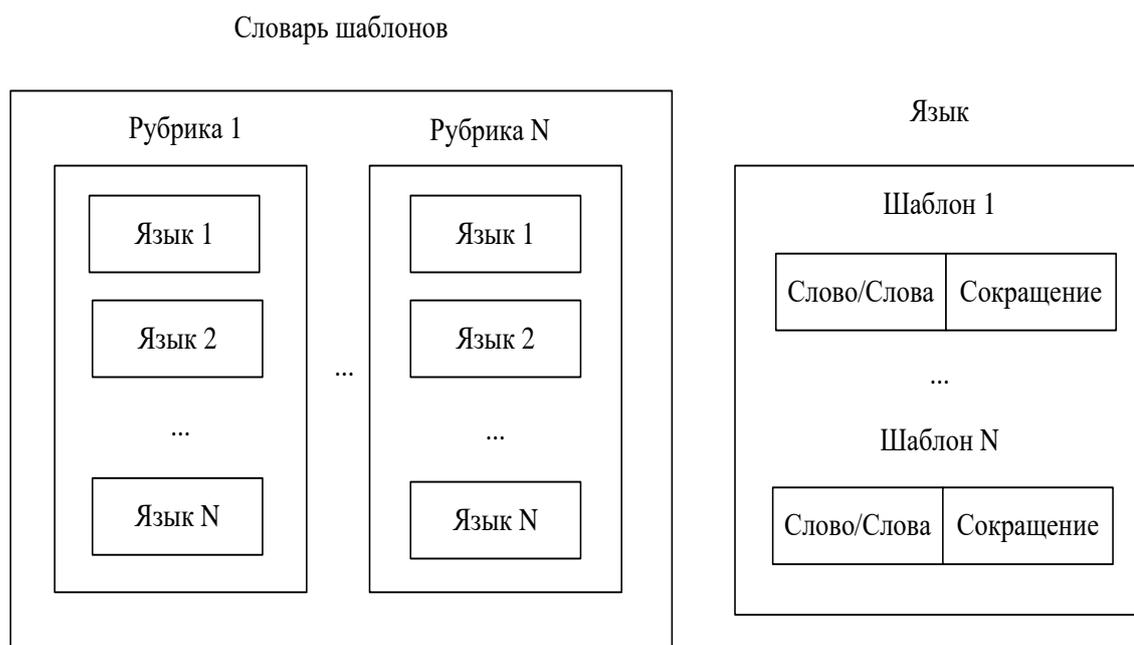


Рис. 1. Модель словаря

Метод проведенной работы основан на анализе существующих моделей классификаторов, а также рассмотрение принципов их работы.

В ходе анализа существующих моделей рубрикаторов было выявлено, что не все системы могут иметь набор ключевых свойств: автоматическая обработка задания (без управления оператора); выбор формы результирующих данных; поиск нескольких шаблонов; обработка многоязычных текстов; многопоточная работа, позволяющая обрабатывать несколько текстов за один период времени; ручная настройка поисковых операторов.

Понимание данного аспекта повлияло на разработку вычислительной системы, которая способна проявить заявленные качества. Схема, описывающая взаимодействие элементов вычислительной системы, представлена на рис. 2.

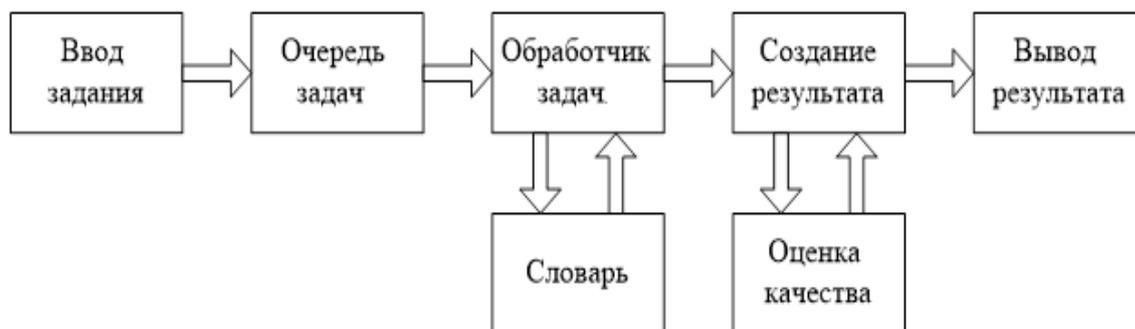


Рис. 2. Модель вычислительной системы

Реализация предложенной вычислительной программы позволяет оптимизировать процесс автоматической классификации текстовых данных. Данная программа применима в области автоматической рубрикации, когда важно произвести поиск шаблонов на естественном языке в текстовом наборе данных.

### *Список литературы*

1. Андреев А. В. Искусственный интеллект и его роль в обработке больших данных // Умная цифровая экономика. 2023. Т. 3, № 1. С. 65–69.
2. Ефанов С. В., Иванова Е. Н. Система параллельной обработки потока текстовых данных // Интеллектуальные и информационные системы : тр. Всерос. науч.-техн. конф. Тула : Изд-во ТулГУ, 2021. 318 с.
3. Баранчиков А. И., Нгуен Н. З. Разработка алгоритма определения семантических зависимостей в информационных структурах // Наука, образование, инновации: актуальные вопросы и современные аспекты : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Наука и просвещение, 2020. С. 33–36.
4. Андреев А. М., Можаров Г. П., Сюзев В. В. Многопроцессорные вычислительные системы: теоретический анализ, математические модели и применение : учеб. пособие. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. 332 с.
5. Ефанов С. В., Иванова Е. Н. Система определения и извлечения данных из различных типов файлов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Распознавание-2021 : сб. материалов XVI Междунар. науч.-техн. конф. / ред. кол.: С. Г. Емельянов, В. С. Титов (отв. ред.), Т. А. Ширабакина [и др.]. Курск, 2021. С. 114.

## ПОВЫШЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ

Илья Александрович Казаков<sup>1</sup>,  
Светлана Валентиновна Рындина<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>Kazakoff64ru@yandex.ru

<sup>2</sup>svetlanar2004@yandex.ru

**Аннотация.** Проведены моделирование и реинжиниринг бизнес-процесса контроля рабочего времени сотрудников для включения в перспективе операций сервиса идентификации на основе машинного обучения с целью повышения точности исполнения. Представлена модель машинного обучения, позволяющая проводить идентификацию присутствия сотрудника на рабочем месте. Внедрение этой модели в HR-процессы способствует повышению точности учета рабочего времени, а также снижению числа нарушений трудовой дисциплины.

**Ключевые слова:** машинное обучение, идентификация, бизнес-процессы управления сотрудниками

## IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF THE BUSINESS PROCESS OF ACCOUNTING FOR EMPLOYEES' WORKING HOURS

Ilya A. Kazakov<sup>1</sup>, Svetlana V. Ryndina<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>Kazakoff64ru@yandex.ru

<sup>2</sup>svetlanar2004@yandex.ru

**Abstract.** Modeling and reengineering of the business process of employee working time control has been carried out to include machine learning-based identification service operations in the future in order to increase the accuracy of execution. The article presents a machine learning model that allows the identification of an employee's presence in the workplace. The introduction of this model into HR processes makes it possible to increase the accuracy of working time accounting, as well as reduce the number of violations of labor discipline.

**Keywords:** machine learning, identification, employee management business processes

Для увеличения показателей бизнес-процессов во всех отраслях экономики активно используется машинное обучение, целью которого является обучение без явных инструкций, чтобы машина могла принимать решения и делать прогнозы как человек, на основе данных и полученного опыта. Наиболее ранние кейсы связаны с выяснением платежеспособности потенциальных заемщиков банками. И если первые скоринговые модели помогали сотрудникам быстрее и качественнее обрабатывать заявки на кредит, то сейчас более точные и адаптивные модели внедряются в автоматизированные процессы с минимальным участием работников банка.

Однако инструменты на основе машинного обучения все чаще используют в тех бизнесах и той деятельности, которые запаздывают присоединиться к цифровым инновациям. Так во многих сетевых офлайн-заведениях невыгодно включать в штат должность менеджера: для такой точки обслуживания клиентов – это лишняя управленческая нагрузка на процессы и серьезное удорожание функционирования. Полноценная загрузка менеджера возможна только в случае, если он контролирует сразу несколько сетевых точек. С другой стороны, персонал в таких заведениях часто временный, текучка высокая и без должного контроля качество исполнения процессов будет снижаться и репутация не только конкретной точки, но и всей сети будет испытывать негативные воздействия.

Инструменты удаленного контроля за работой сотрудников позволяют управлять несколькими точками без потери качества. Однако и здесь не обходится без проблем. Например, все точки открываются обычно в одно и то же время, способы обхода контроля базовых вариантов систем учитывающих рабочее время сотрудников достаточно примитивны, как, собственно, и подобные системы. Физические носители с идентификатором сотрудника передаются коллегам, для отметки отсутствующего сотрудника на рабочем месте. Некоторые усложнения этого процесса также не гарантируют успех.

Так в одной из кофеен сети для обслуживания большого потока посетителей в утренние часы на точке приступали к работе одновременно три сотрудника. Были установлены камеры, которые позволяли проконтролировать обстановку в кафе, но постоянного отслеживания видеопотока с этих камер не было. Точнее

наблюдение проводилось без использования современных решений для распознавания содержания видеопотока и выделения тех фрагментов, которые требуют внимания, а оператору выделить такие ситуации, следя одновременно за потоком с нескольких камер, было проблематично. Считалось, что, если все три сотрудника откроют смену на точке и сбросят свое селфи в чат, этого будет достаточно, чтобы убедиться в их присутствии на рабочем месте. За отсутствующего сотрудника его коллеги открыли смену и сбросили в чат его старое селфи. Отсутствие сотрудника на рабочем месте было установлено только спустя несколько часов смены. Это тот случай, когда нарушение рабочего распорядка было все же выявлено. Однако нет гарантии, что подобные инциденты не случались ранее и не случатся в дальнейшем, оставаясь неизвестными по причине поверхностного контроля.

Более тщательный контроль основан на идентификации сотрудника на рабочем месте, поэтому предъявить старую фотографию вместо реального человека не получится.

Создадим модель, которая будет обнаруживать лица и распознавать их, с использованием библиотек языка Python. Существует множество алгоритмов для обнаружения лица, один из давно используемых – алгоритм Виолы-Джонсона. Алгоритм основывается на методе Хаара, осуществляющем поиск нужного объекта по различным признакам, например, цифрам, буквам и т.д.

Для распознавания лиц необходимо извлечь признаки, характеризующие лицо. Традиционно для этого используют эмбединг: нейросеть принимает на вход изображение, а возвращает числовой вектор, который характеризует основные признаки данного лица. Так как в разные периоды времени лицо может меняться, хотя и незначительно, нужно обучить сеть выводить векторы, находящиеся рядом в векторном пространстве. Код для модели распознавания был написан на языке Python, использовались возможности библиотеки OpenCV и каскадный фильтр [1]. Для корректного использования библиотеки OpenCV в моделировании процессов доступно руководство [2].

Схема модели учета рабочего времени сотрудников представлена в нотации BPMN (Business Process Model and Notation) на рис. 1.

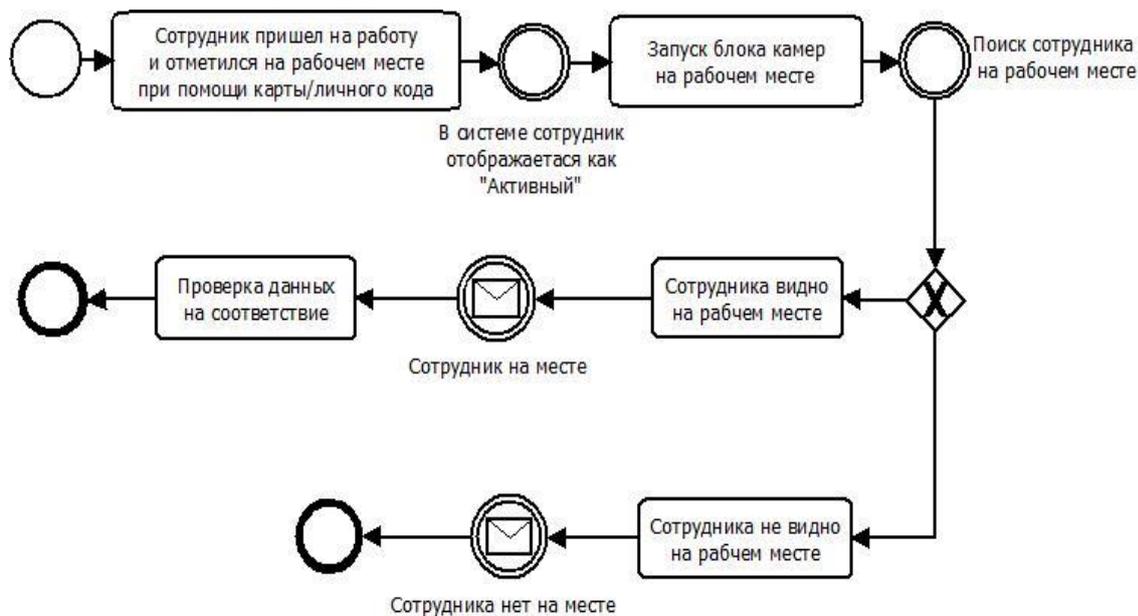


Рис. 1. Модель учета присутствия сотрудников на рабочем месте

После того, как сотрудник пришел на работу, ему необходимо отметить с помощью карты или личного кода в системе учета рабочего времени. Если данные корректные, сотрудник помечается как «активный» и его данные загружаются на точку, где он работает. Эта информация передается также менеджеру, учитывающему присутствие сотрудников на рабочем месте. Камера, осуществляющая наблюдение на точке, включается при активации первого сотрудника и начинает регулярно брать фото лиц из карточек сотрудников на сервере и сравнивать их с лицами, которые она нашла на обозреваемой территории. Если в течении 30 минут сотрудник не появляется в обзоре камеры, то менеджер получает уведомление о том, что данный работник отсутствует и никак не отметился на выходе своей картой или кодом. Контроль рабочего времени сотрудников осуществляется до тех пор, пока на точке есть хотя бы один активный сотрудник.

### Список литературы

1. OpenCV. URL: <https://github.com/opencv/opencv/tree/master/data/haarcascades> (дата обращения: 10.09.2024).
2. OpenCV modules. URL: <https://docs.opencv.org/3.4/> (дата обращения: 10.09.2024).

## ГЕТЕРОГЕННОЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ЗАДАЧАХ SLAM И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦЕЛЕЙ

**Василий Павлович Кирос**

*Ярославский государственный университет  
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

Crafter76@gmail.com

**Аннотация.** Исследуются подходы к мультиагентной оценке состояния в робототехнике, когда несколько мобильных роботов используют различные алгоритмы для решения задач, таких как SLAM (одновременная локализация и построение карты) и отслеживание целей. Рассматривается децентрализованная система, позволяющая роботам с неоднородными алгоритмами обмениваться лишь релевантной информацией, снижая при этом объем передаваемых данных и вычислительные затраты. Основное внимание уделяется развитию гетерогенного слияния данных, при котором каждый робот управляет локальными и общими переменными, обеспечивая согласованность карты и отслеживание целей.

**Ключевые слова:** мультиагентные системы, децентрализованное управление, гетерогенные роботы, SLAM, слияние данных

## HETEROGENEOUS MULTI-AGENT COLLABORATION IN SLAM AND TARGET TRACKING TASKS

**Vasily P. Kirnos**

*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

Crafter76@gmail.com

**Abstract.** This paper explores multi-agent state estimation approaches in robotics where multiple mobile robots, using heterogeneous algorithms, collaborate to achieve tasks such as SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) and target tracking. A decentralized system architecture is considered, enabling robots with varying capabilities to exchange only relevant information, significantly reducing data transmission and computational load. Focus is placed on developing heterogeneous data fusion, where each robot manages both local and shared variables, ensuring map consistency and accurate target tracking.

**Keywords:** multi-agent systems, decentralized control, heterogeneous robots, SLAM, data fusion

Во многих задачах робототехники значительный вклад приносит совместное использование информации между несколькими мобильными роботами при исследовании, поисково-спасательных операциях, отслеживании нескольких целей или картографировании больших пространств. Существуют различные подходы к решению задач мультиагентной оценки состояния: их можно решать централизованным образом, когда все роботы отправляют свои данные в центр обработки, или децентрализованным – с использованием алгоритмов, таких как консенсус или децентрализованное слияние данных (DDF) [1–2]. Все эти подходы предполагают, что каждый робот использует одинаковый (гомогенный) алгоритм оценки. Однако на практике необходимо обеспечить взаимодействие роботов с разными возможностями, которые должны полагаться на неоднородные алгоритмы.

Рассматривается архитектура системы, позволяющую осуществить взаимодействие в децентрализованной сети роботов, где каждый робот использует разные алгоритмы оценки. Сфокусируемся на задаче одновременной локализации и построения карт (SLAM) с отслеживанием нескольких целей. Основная идея использования заключается в условной независимости, свойственной многим робототехническим приложениям. Целью является разделить задачи локальной оценки (инференции) каждого робота и объединять только релевантные части их неравных, но перекрывающихся функций плотности вероятности. В качестве основы используется широко применяемая факторная модель [3–4] и её преимущества в представлении условной независимости для разработки легко масштабируемых, статистически согласованных алгоритмов неоднородного слияния [5]. Эти алгоритмы значительно снижают требования к локальной передаче данных и объему вычислений, позволяя мобильным роботам обмениваться информацией для SLAM с плотными и метрически-семантическими картами, одновременно отслеживая динамические цели и используя разные сенсоры.

В мультиагентном SLAM большинство работ основано на разреженном SLAM с ориентирами, где роботы обмениваются подкартами и объединяют их. В некоторых работах используется гибридный алгоритм канального фильтра и пересечения ковариаций, чтобы предотвратить многократный учёт данных. В других подходах используется более консервативное правило слияния,

называемое «ограниченная инфляция ковариации». Также применяются различные модификации пересечения ковариаций для решения задач SLAM с полной ковариацией, предполагая создание трёх типов карт: основной, относительной и локальной, которые затем объединяются с помощью пересечения ковариаций для учета неизвестных зависимостей.

Для разреженного SLAM с ориентирами возможно делиться частями карты, но такой подход менее применим для плотных карт и метрически-семантического SLAM. Поэтому последние подходы либо используют централизованный сервер для объединения карт, либо оптимизируют только траектории роботов с помощью методов оптимизации графа позиций (графовый SLAM), чтобы корректировать локальные оценки карты. Проблема совместного отслеживания и SLAM привлекает меньше внимания в литературе по сравнению с совместным SLAM. Некоторые работы предлагают разделить SLAM и задачи обнаружения и отслеживания движущихся объектов, предполагая, что данные по движущемуся объекту не содержат информации о карте и позе робота. В других работах используются случайные конечные множества для мультиагентного SLAM с отслеживанием движущихся объектов, но эти методы не являются полностью децентрализованными, так как предполагается использование всех измерений и траекторий.

Далее будет проанализирован децентрализованный подход на основе графов к проблеме мультиагентного SLAM и отслеживания. Используются факторные графы для разделения задачи на части для эффективного обмена данными между роботами в сети, позволяя использовать разные локальные алгоритмы SLAM.

Рассмотрим сеть из  $n_r = |N_r|$  мобильных роботов, работающих в неизвестной общей среде. Каждый робот анализирует окружающую среду и стремится получить ситуационное осознание с помощью своего локального, потенциально отличного, алгоритма SLAM. Кроме того, роботам поручено совместное вычисление (оценка) неизвестного состояния подмножества статических или динамических целей на шаге времени. В вероятностном подходе неопределенность в задаче многороботного SLAM и отслеживания нескольких целей описывается как:

$$p(\chi|Z_k) = p(X_{\{k:0\}}, M, T_k | Z_k),$$

здесь  $p(\chi|Z_k)$  – функция плотности вероятности по полному множеству случайных переменных системы, условная по набору данных  $Z_k = \bigcup_{\{i \in N_r\}} Z_k^i$ , собранному всеми роботами;  $X_{\{k:0\}}$  – множество случайных переменных, описывающее неопределенные позы всех  $n_r$  роботов на временных шагах от 0 до  $k$ ;  $T_k$  – множество случайных переменных, описывающее неопределенные позиции всех  $n_t$  целей на временном шаге  $k$ ;  $M$  – множество случайных переменных, представляющее карту. Важно отметить, что здесь  $M$  определено неоднозначно, чтобы допустить гетерогенность в системе. Это позволяет каждому роботу иметь своё представление окружающей среды, например, разреженные ориентиры, облака точек и объекты с метками.

В децентрализованной формулировке задачи каждому роботу  $i$  поручено вычисление подмножества полного множества случайных переменных  $\chi_i \subset \chi$ : его собственной позы  $x_{\{k:0\}}^i \subset X_{\{k:0\}}$ , локальной карты  $M_i \subset M$  и состояний  $T_i$  подмножества  $N_t^i \subset N_t$  целей. Задачу локальной оценки любого робота  $i \in N_r$  можно описать как:

$$p_i(\chi_i | Z_k^i) = p(x_{\{k:0\}}^i, M_i, T_k^i | Z_k^i).$$

В децентрализованном SLAM и отслеживании объектов любой робот  $i$  имеет собственную функцию вероятности, основанную на данных, которые он собирает с помощью локальных сенсоров и получает от соседних роботов через одноранговую связь. Поскольку каждый робот поддерживает разные, но перекрывающиеся с соседями данные, то это является случаем задачи гетерогенного слияния данных. В гетерогенном слиянии производится разделение множества случайных переменных робота  $\chi_i$  на общие переменные  $\chi_C^i = \bigcup_{\{j \in N_r^i\}} \chi_C^{\{ij\}}$ , локальные переменные  $\chi_L^i$ , которые не отслеживаются никаким другим роботом в сети, и взаимные переменные  $\chi^{\{i \setminus j\}} = \chi_L^i \cup \{ \chi_C^i \setminus \chi_C^{\{ij\}} \}$ . В предлагаемом подходе к SLAM и отслеживанию общие переменные – это общие состояния целей  $T_C^{\{ij\}}$ , локальные переменные – локальная карта и состояния позы робота, а  $T^{\{i \setminus j\}}$  – подмножество целей, отслеживаемых роботом  $i$ , и, возможно, другими роботами, но не  $j$ .

## **Алгоритм работы мультиагентной системы:**

**1. Инициализация:** Каждый мобильный робот запускает локальный SLAM, фильтр отслеживания для оценки набора целей, стек канального фильтра для отслеживания данных по общим целям.

**2. Запуск SLAM:** Робот поддерживает карту среды и независимую позу.

**3. Запрос позы:** Когда робот замечает цель, модуль отслеживания запрашивает позу у модуля SLAM.

**4. Отправка позы:** Модуль SLAM отправляет фактор пропорционально личной оценке позы.

**5. Получение позы:** канальный фильтр удаляет общие данные, новый фактор интегрируется в графы канального фильтра и модуля отслеживания.

**6. Одноранговое слияние:** Модуль отслеживания обменивается данными с соседним роботом по общим целям.

**7. Отправка позы обратно в SLAM:** Модуль отслеживания передает модулю SLAM маргинальные эго-факторы позы.

**8. Добавление факторов в SLAM:** SLAM добавляет новые данные из модуля отслеживания.

**9. Повтор:** Процесс повторяется рекурсивно.

Разработанный алгоритм позволяет организовать гетерогенную роботизированную систему, в которой роботы могут сотрудничать, несмотря на различия в алгоритмах и датчиках на борту. Для этого необходимы факторные графы для анализа и использования структуры условной вероятности, присущей децентрализованной мультиагентной гетерогенной системе SLAM. Возможности предложенного алгоритма и организации децентрализованной мультиагентной гетерогенной системы позволяют решать более широкий круг задач на карте местности.

### *Список литературы*

1. Olfati-Saber R., Murray R. M. Consensus problems in networks of agents with switching topology and time-delays // IEEE Transactions on Automatic Control. 2004. Vol. 49, № 9. P. 1520–1533. doi: 10.1109/TAC.2004.834113

2. Chong C. Y., Tse E., Mori S. Distributed estimation in networks // American Control Conference (ACC). San Francisco, 1983. P. 294–300.
3. Frey B. J., Kschischang F. R., Loeliger H.-A., Wiberg N. Factor graphs and algorithms // Proc. 35th Allerton Conf. on Communications, Control, and Computing. Monticello, 1997. P. 666–680.
4. Dagan O., Ahmed N. R. Factor graphs for heterogeneous Bayesian decentralized data fusion // 24th International Conference on Information Fusion (FUSION) IEEE. Sun City, 2021. P. 1–8.
5. Dagan O., Ahmed N. R. Exact and Approximate Heterogeneous Bayesian Decentralized Data Fusion // IEEE Transactions on Robotics. 2023. Vol. 39, № 2. P. 1136–1150.

УДК 004.9

## **РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ЭЛЕКТРОННОГО БРОНИРОВАНИЯ КНИЖНЫХ ИЗДАНИЙ**

**Андрей Андреевич Китаев**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

andrew\_kitaev@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрена проблема цифровизации библиотечной системы. Описана разработка веб-приложения для бронирования книжных изданий в библиотеках, а также использованные при этом технологии.

**Ключевые слова:** клиент-серверная архитектура, информационная система, веб-приложение

## **DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC BOOK RESERVATION SERVICE**

**Andrey A. Kitaev**

*Penza State University, Penza, Russia*

andrew\_kitaev@mail.ru

**Abstract.** The problem of digitalization of the library system is considered. The development of a web application for booking books in public libraries is described. Technologies used in development are described.

**Keywords:** client-server architecture, information system, web application

В настоящее время большинство государственных услуг доступны для получения с помощью Интернета, в то время как библиотечная система испытывает существенное отставание в области цифровизации, наблюдается недостаточно качественный уровень информационного обслуживания пользователей [1]. Учёт наличия и бронирования книжных изданий ведётся с помощью бумажных носителей, что ограничивает эффективность работы библиотек и затрудняет поиск книг пользователями, так как для этого требуется очное посещение одной или нескольких библиотек.

Для решения данных проблем предлагается разработка электронного сервиса бронирования книжных изданий, который предоставляет пользователям информацию о наличии книг и их местонахождении и автоматизирует процессы учёта и бронирования книг.

При создании приложения с базой данных одним из первых шагов является проектирование структуры базы данных. Структура базы данных разработанного приложения представлена на рис. 1.

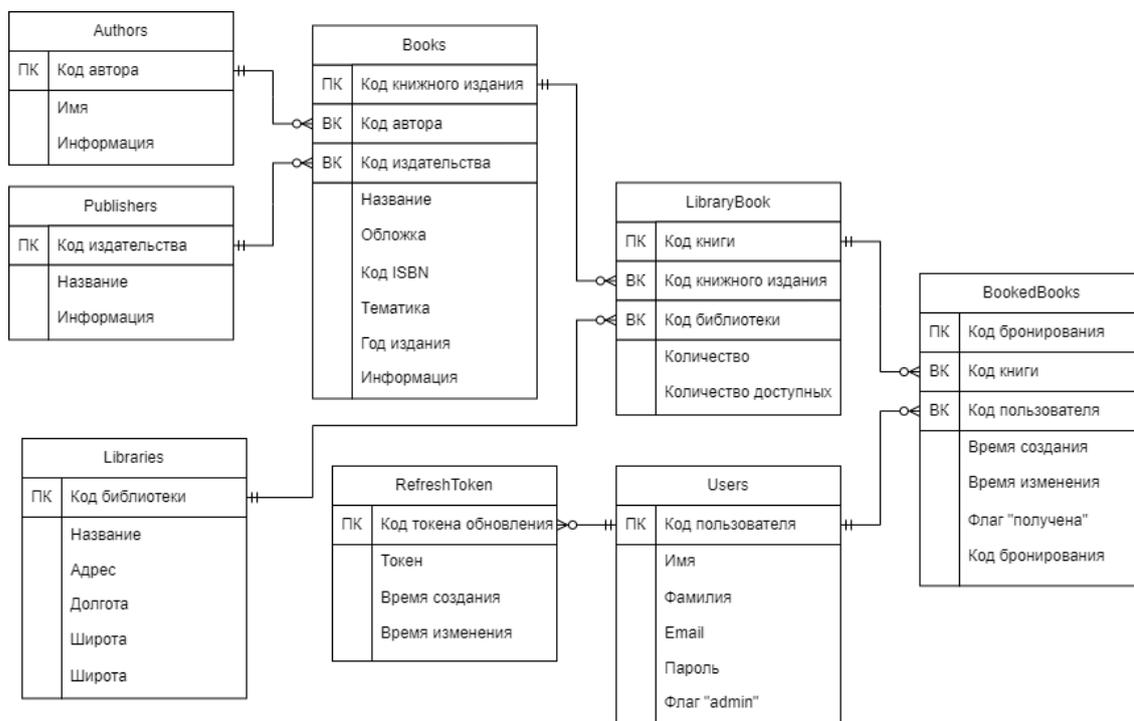


Рис. 1. Структура базы данных

Для повышения скорости и гибкости разработки используется ORM Prisma, осуществляющая объектно-реляционное преоб-

разование данных. ORM позволяет абстрагироваться от языка SQL и автоматизирует управление миграциями, создание связей между таблицами, кэширование и оптимизацию запросов.

Сервис реализован в формате веб-приложения для обеспечения кроссплатформенности и разработан по классической клиент-серверной архитектуре. Выбор средств разработки обусловлен необходимостью оптимизации процессов разработки, тестирования и последующего сопровождения приложения. В качестве front-end фреймворка выбран Vue 3 как менее ресурсоемкий и обладающий наиболее простым синтаксисом среди аналогов (React и Angular). Серверная часть разработана с использованием фреймворка Nuxt 3, выполняющего функции серверного рендеринга и позволяющего писать код для платформы Node.js, предоставляя дополнительные уровни абстракции с помощью своего HTTP-фреймворка h3 и серверного движка Nitro [2]. Топология системы и распределение её компонентов по физическим узлам представлены на рис. 2.

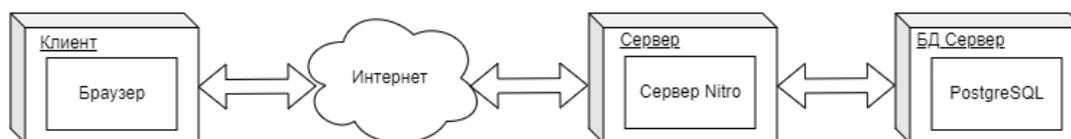


Рис. 2. Схема размещения системы

Архитектурным паттерном был выбран MVVM или Model-View-ViewModel. Концепции этого паттерна наиболее близки к принципам работы современных фреймворков, в том числе выбранного фреймворка Vue. Большинство современных фреймворков для разработки веб-приложений, такие как React, Angular и Vue работают в парадигме реактивного программирования: отслеживают изменения в своем состоянии, распространяют уведомления об изменениях для всех своих компонентов, автоматически отрисовывают представления в ответ на изменения состояния. Шаблон проектирования MVVM и реактивное программирование не имеют прямого отношения друг к другу, но у них общая направленность: обе концепции стремятся сделать приложение более отзывчивым и надежным с точки зрения пользователя [3].

Неотъемлемой частью любого приложения, подразумевающего работу с пользователями, является система аутентификации

и авторизации. В разработанном приложении эта система реализована с помощью пары зашифрованных токенов – недолговечного токена доступа и долговечного токена обновления. Оба токена хранятся на стороне клиента в cookie браузера, а токен обновления хранится также в БД. Запросы, требующие авторизации обрабатываются промежуточным ПО (middleware), которое получает токен доступа из заголовков HTTP-запроса и отклоняет запрос, если токен доступа не найден или его не удаётся расшифровать. Токен обновления используется для дополнительной защиты на случай перехвата токена доступа: пока в cookie браузера есть действительный токен обновления, совпадающий с токеном в БД, периодически, через короткие промежутки времени будет генерироваться новый токен доступа, делая предыдущий токен доступа недействительным.

В большинстве веб-приложений существуют данные, которые должны быть доступны множеству разных компонентов, например данные о пользователе, настройки интерфейса или «корзина» в интернет-магазине. Согласованная совокупность таких данных называется состоянием приложения. Пока приложение небольшое, управление состоянием простое – компоненты могут напрямую обмениваться данными с помощью свойств и событий. В более сложных приложениях используются библиотеки управления состоянием. Они решают задачи централизации хранения данных, синхронизации данных и масштабируемости приложения. В разработанном приложении для хранения данных об авторизованном пользователе использована библиотека управления состоянием Pinia.

Ключевой функцией сервиса бронирования книжных изданий является бронирование книг и автоматизация учёта выданных и забронированных изданий. Бронирования фиксируются в таблице БД BookedBooks, содержащей код книги, пользователя, время бронирования, флаг выдачи и код бронирования. Автоматизация работы с бронированиями (заказами) реализована рядом функций, согласованная работа которых представлена на рис. 3 в виде UML-диаграммы деятельности.

Описанное веб-приложение при его внедрении в библиотечную систему позволило бы решить ряд проблем, связанных с цифровизацией библиотечных услуг и тем самым улучшить работу библиотек, путём автоматизации работы сотрудников библиотек и улучшения информационного обслуживания пользователей.

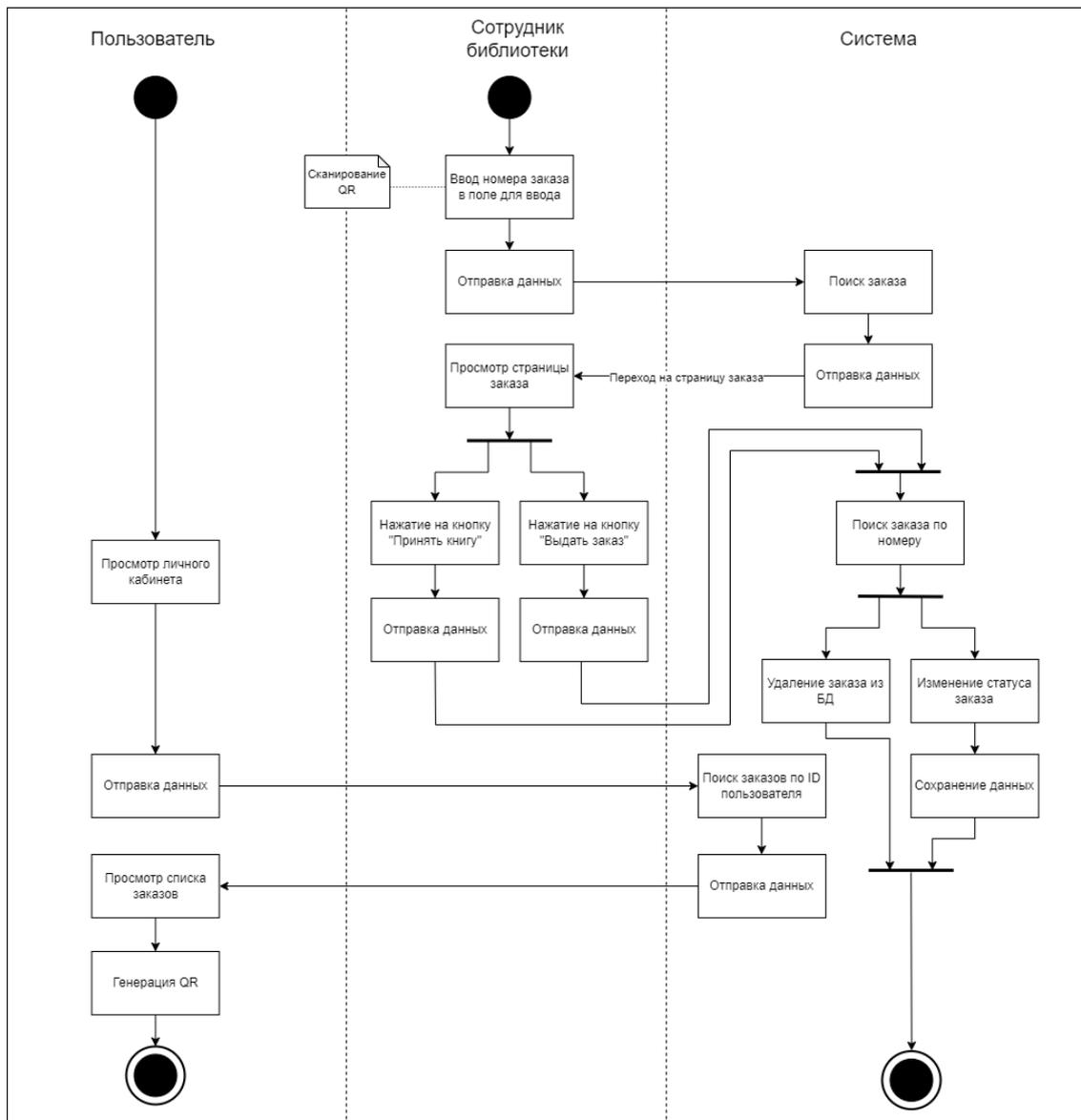


Рис. 3. Диаграмма деятельности обработки бронирований

### Список литературы

1. Стратегия развития библиотечного дела Российской Федерации на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации № 608-р от 13 марта 2021 г. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400356337/>
2. Документация Nuxt 3. URL: <https://nuxt.com/docs/guide/concepts/server-engine> (дата обращения: 04.10.2024).
3. Китаев А. А. Сервис электронного бронирования книжных изданий. Пенза, 2024. 33 с. URL: [http://elib.pnzgu.ru/library\\_doc/54066](http://elib.pnzgu.ru/library_doc/54066) (дата обращения: 01.10.2024).

## **МНОГОСПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА CUBESAT: ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕМТОСПУТНИКОВ**

**Александр Михайлович Некоркин<sup>1</sup>,  
Андрей Леонидович Приоров<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия*

<sup>1</sup>Nekorkinam82@gmail.com

<sup>2</sup>andcat@yandex.ru

**Аннотация.** Рассматривается инновационная система дистанционного зондирования Земли, основанная на использовании наноспутников CubeSat (КубСат) и сети фемтоспутников. Основное внимание уделяется разработке и применению наноспутника-контейнера формата 3U CubeSat, способного развернуть на околоземной орбите порядка 120 фемтоспутников для повышения точности и эффективности сбора данных о ближнем космосе и верхних слоях атмосферы. Ключевые технические решения направлены на обеспечение постепенного развертывания фемтоспутников на орбите, а также на усиление их преимуществ по сравнению с имеющимися классическими методами дистанционного зондирования Земли. Подчеркивается важность таких аспектов, как масштабируемость, экономичность и гибкость спутниковых систем на низких орбитах, которые открывают новые перспективы для сбора и анализа данных в указанных областях.

**Ключевые слова:** наноспутник, CubeSat, фемтоспутник, дистанционное зондирование Земли, спутниковая группировка

## **MULTISATELLITE SYSTEM CUBESAT: REMOTE SENSING OF THE EARTH USING FEMTOSATELLITES**

**Alexander M. Nekorkin<sup>1</sup>, Andrey L. Priorov<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

<sup>1</sup>Nekorkinam82@gmail.com

<sup>2</sup>andcat@yandex.ru

**Abstract.** An innovative remote sensing system based on the use of CubeSat nanosatellites and a network of femtosatellites is considered. The main focus is on the development and application of a 3U CubeSat nanosatellite container

capable of deploying about 120 femtosatellites in low-Earth orbit to improve the accuracy and efficiency of data collection on near space and the upper atmosphere. Key technical solutions are aimed at ensuring the gradual deployment of femtosatellites in orbit, as well as at strengthening their advantages over existing classical remote sensing methods. Aspects such as the scalability, cost-effectiveness and flexibility of satellite systems in low orbits are highlighted, which open up new prospects for data collection and analysis in these areas.

**Keywords:** nanosatellite, CubeSat, femtosatellite, remote sensing, satellite constellation

Космические технологии играют важную роль в исследовании Вселенной, наблюдении за Землей, спутниковой связи и навигации, а также ряде других областей. Одним из современных трендов в космической индустрии стала разработка и запуск небольших космических аппаратов, так называемых наноспутников [1]. Данный формат позволил значительно упростить разработку и запуск малых космических аппаратов, открыв доступ к современным космическим технологиям для непрофильных университетов, небольших исследовательских организаций и частных компаний, а также просто групп энтузиастов создания и использования новых космических технологий в различных областях.

Наноспутники имеют ряд преимуществ перед традиционными спутниками больших размеров: они более дешевы в разработке, запуске и последующей эксплуатации, могут быть использованы для решения широкого спектра задач, и, что особенно важно, обеспечивают возможность более гибкого управления их группировкой и функционированием на околоземной орбите [2]. В рамках представленной работы предлагается использовать спутники еще более малых размеров (фемтоспутники) в качестве полезной нагрузки для наноспутника-контейнера.

По одной из достаточно распространенных классификаций фемтоспутники представляют собой микрокосмические устройства с массой в диапазоне от 10 до 100 грамм [3], поэтому стал возможен запуск таких аппаратов целыми группами. Ввиду относительно небольшой стоимости, а также существенно более короткого по времени цикла разработки, использование миниатюрных фемтоспутников открывает новые возможности для осуществления задач, которые сейчас практически невыполнимы или неэкономичны с помощью космических аппаратов больших размеров.

Обычно фемтоспутник представляет собой печатную плату с размерами сторон всего в несколько сантиметров, толщиной в несколько миллиметров и массой, измеряемой в единицах грамм. На плате размещены солнечная батарея, микроконтроллер управления, радиопередатчик, а также целевая аппаратура (обычно это сенсоры (датчики): магнитометр, термометр, гироскоп, акселерометр и т.п.). Кроме того, фемтоспутник имеет передающую и приемную антенны, позволяющие передавать сигналы на относительно небольшие расстояния. Благодаря этому становится возможным исследование флуктуаций гравитационного поля Земли или изучение плотности верхних слоев атмосферы. В настоящее время разрабатываются двигатели для таких устройств [4–6]. Поскольку возможности электропитания в космическом пространстве сильно ограничены, предусматривается даже возможность использования космического мусора как источника внешней энергии. Исходя из этого становятся выполнимыми некоторые задачи по созданию и эксплуатации новых космических конфигураций, практически недоступных другим форматам малых космических аппаратов.

В различных областях космонавтики, включая пилотируемую, большое значение имеют данные о верхних слоях атмосферы. Они используются для прогнозирования траектории, места и времени входа космических аппаратов различного назначения в плотные слои атмосферы при возвращении их на Землю. Этому способствует и то, что на сегодняшний день имеется недостаточно информации о свойствах, характеристиках и параметрах верхних слоев атмосферы. Группа (рой) малых спутников, равномерно распределенных в определенной области низкой околоземной орбиты, может обеспечить одновременное измерение большого количества различных параметров.

Для создания более точной модели атмосферы в заданной области интереса необходимо использовать группы из сотен или даже тысяч малых спутников, срок службы которых при этом сможет составлять всего несколько недель. Однако необходимо предусмотреть меры, чтобы эти малые объекты не стали космическим мусором с возможностью нанести вред другим космическим аппаратам, находящимся на этой же орбите.

Предлагается запускать фемтоспутники из корпуса наноспутника, который при этом фактически становится контейнером

для подобных запусков. Такой наноспутник-контейнер формата CubeSat (КубСат) может иметь формат в 3 стандартных единицы (3U) с размером 30x10x10 см и весом до 4 кг, что дает возможность размещать на его борту порядка 120 малых фемтоспутников. Модель разрабатываемого устройства представлена на рис. 1.

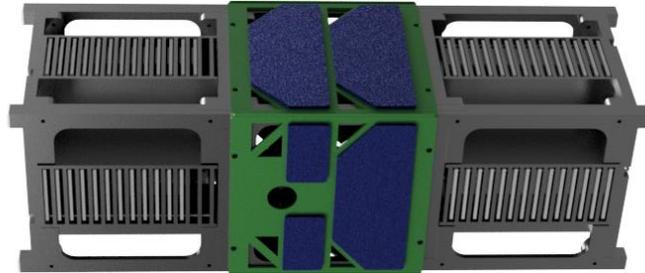


Рис. 1. Модель наноспутника-контейнера для запуска 120 фемтоспутников

Рассмотрим архитектуру спутниковой группировки, изображенную на рис. 2. Главным спутником здесь является мастер (В). Его основная задача состоит в передаче полученных фемтоспутниками (А) данных на земную станцию наблюдения для их последующей обработки и анализа. Спутник-контейнер (С) будет выступать в качестве ретранслятора сигнала между фемтоспутниками и мастером. Распределение по высоте орбит представлено в табл. 1.

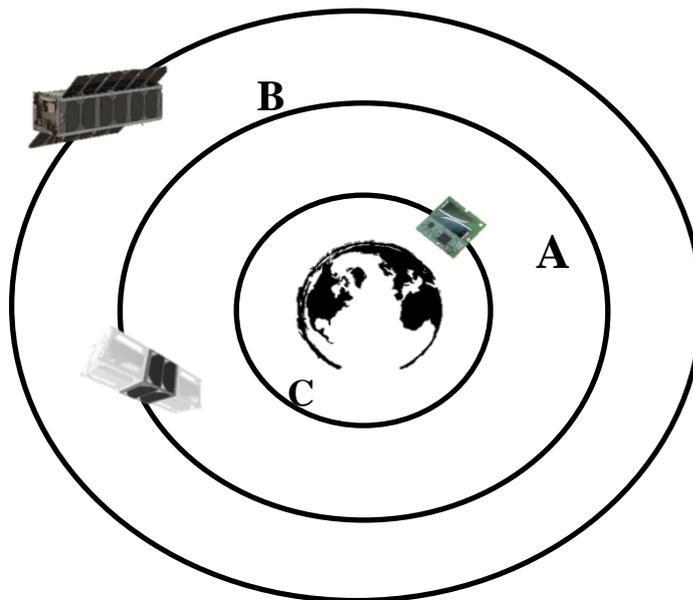


Рис. 2. Расположение группировки малых спутников

**Высоты орбит спутников в группировке**

Тип спутника	Высота орбиты, км
Мастер (B)	Более 400
Контейнер-ретранслятор (C)	Менее 250
Фемтоспутники (A)	Менее 150

В качестве упрощения (или резервного варианта), возможна реализация группировки без спутника мастер. Тогда его функции сможет взять на себя аппарат С. Следствием этого станет снижение скорости передачи информации на Землю. Кроме того, возможен вариант, когда спутники мастер и контейнер находятся на одной орбите. Если это орбита спутника С, то уменьшится время сеансов связи с земной станцией, а если орбита спутника В, то на фемтоспутниках будут нужны более мощные передатчики и чувствительные приемники.

Важно отметить, что массовое производство таких миниатюрных устройств значительно снизит затраты на их изготовление и запуск, что сделает эти технологии более доступными для научных и коммерческих организаций. В перспективе это откроет новые возможности для проведения много-спутниковых миссий, которые позволят не только улучшить мониторинг и исследование окружающей среды, но и обеспечить высокий уровень надежности всей системы. Даже при потере отдельных фемтоспутников по различным причинам остальные аппараты продолжают работу, сводя к минимуму влияние возможных технических неполадок.

С помощью группы миниатюрных фемтоспутников можно проводить высокоточные измерения и наблюдения, поскольку она в определенных пределах могут изменять свою конфигурацию, повышая гибкость при выполнении различных миссий. Подобный подход дает возможность для реализации нового типа обзорных исследований и коммерческих приложений, таких как высокоточное картографирование и исследование изменений климата.

***Список литературы***

1. Kara O., Birkeland R., Zhang L., Kaytaz U. Future Cubesat Swarms Pose Significant Communications Challenges // *Aerospace Sphere Journal*. 2018. № 2 (95). P. 58–65.

2. Климов С. И. Микроспутники. М. : Институт космических исследований Российской академии наук, 2015. 75 с.

3. «Фемтоспутники»: возможности и перспективы // Geopvofl.ru: сайт. URL: [https:// neogeography.ru/rus/item/949-femtospurniki-vozmozhnosti-i-perspektivy.html](https://neogeography.ru/rus/item/949-femtospurniki-vozmozhnosti-i-perspektivy.html) (дата обращения: 18.04.2024).

4. Новосельцев Д. Двигатели сверхмалых космических аппаратов-Импульс // 20.35 Университет : сайт. URL: <https://pt.2035.university/project/dvigateli-sverhmalyh-kosmiceskih-apparatov> (дата обращения: 05.02.2024).

5. Крамлих А. В. Модульное проектирование микро/наноспутников. Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет), 2010. 59 с.

6. Siryi R. S., Baranov P. S. Method for Improving the Accuracy of the Theoretical Evaluation of the Effectiveness of Space Debris Monitoring by an Orbital Television System. SPb. : Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 2022. 5 p.

УДК 519.853

## **РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЦИАЛЬНОГО И ПЕНСИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**Сергей Иванович Носков<sup>1</sup>,  
Александр Петрович Медведев<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения,  
г. Иркутск, Россия*

<sup>1</sup>sergey.noskov.57@mail.ru

<sup>2</sup>medvedeff.a.p@yandex.ru

**Аннотация.** Социальное и пенсионное обеспечение является важнейшим элементом социальной политики любого государства. Это, в свою очередь, относится не только к обеспечению материального благосостояния населения, но и к созданию условий социальной стабильности, а также укреплению доверия граждан к государству. К оценке финансовых активов любого предприятия можно подойти с различных сторон, например, используя методы математического моделирования, в частности методы регрессионного анализа. В работе на основании статистических данных отдельно взятого регионального отделения социального фонда было проведено исследование методом реализации конкурса моделей. Показано, что для качест-

венного моделирования рассматриваемого процесса важно учитывать практическую интерпретируемость модели.

**Ключевые слова:** социальный фонд, регрессионная модель, критерии адекватности, конкурс моделей, прогнозирование

## REGRESSION MODELING OF PROCESSES OF SOCIAL AND PENSION PROVISION

Sergey I. Noskov<sup>1</sup>, Alexander P. Medvedev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia*

<sup>1</sup>sergey.noskov.57@mail.ru

<sup>2</sup>medvedeff.a.p@yandex.ru

**Abstract.** Social and pension provision is the most important element of social policy of any state. This, in turn, refers not only to ensuring the material well-being of the population, but also to creating conditions of social stability, as well as strengthening the confidence of citizens in the state. The assessment of financial assets of any enterprise can be approached from different sides, for example, using methods of mathematical modeling and, in particular, methods of regression analysis. In this paper, on the basis of statistical data of a separate regional branch of the social fund, the study was carried out by the method of realization of the competition of models. It is shown that for qualitative modeling of the studied process it is important to take into account the practical interpretability of the model.

**Keywords:** social fund, regression model, adequacy criteria, model competition, forecasting

Задачу планирования деятельности социального фонда принято решать различными математическими методами. Например, с помощью метода стохастического контроля получения оптимального распределения активов и политики взносов, изложенного в работе [1] или при помощи сравнения математических моделей фонда путем их численного анализа [2]. Особое место среди математических методов прогнозирования занимают методы регрессионного анализа. При этом сами подходы к использованию подобных методов при оценке показателей эффективности работы сложных объектов, таких, как социальный фонд, могут существенно различаться из-за большого количества независимых друг

от друга факторов. В настоящей работе за выходную переменную был принят общий объем финансирования социальных пособий населения за рассматриваемый период.

Источником информации для проведения исследования послужили статистические данные социального фонда России [3] и отдельно взятого регионального подразделения за десятилетний период.

Как было показано в работе [4], линейная модель исследуемого объекта не поддается интерпретации и требует существенного пересмотра.

Введем следующие обозначения:

$y$  – суммарный годовой объем финансирования отделения пенсионного фонда, млн. рублей;

$x_1$  – количество получателей страховых пенсий по старости, чел;

$x_3$  – количество самозанятых, чел.;

$x_4$  – количество получателей пособий единовременной выплаты, чел.;

Как было показано ранее, введение в рассмотрение относительных величин имеет под собой практический смысл.

Таким образом, введем в рассмотрение относительную величину  $\frac{x_3}{x_1}$  – отношение количества самозанятых граждан к общему числу получателей пенсий.

Дальнейшие рассуждения будем строить аналогично методам, описанным в работах [5, 6]. За основу исследования был взят метод реализации конкурса моделей.

Введем предельные значения для критериев адекватности:

$$R^2 \geq 0.9, F \geq 15, E \leq 5\%.$$

Выбор наилучшего варианта модели был произведен по значениям критерия Фишера и средней относительной ошибки аппроксимации:

$$y = -4514190 + 0.344645x_1 + 112348 \frac{x_3}{x_1} + \frac{54913000}{\ln(x_4)}. \quad (1)$$

$$(-20.31) \quad (4.591) \quad (3.554) \quad (17.72)$$

Под каждым коэффициентом приведено значение t-критерия Стьюдента.

Значения критериев адекватности предложенной модели следующие:

$$R^2 = 0.993572, F = 516.25, E = 0.848,$$

Анализ модели (1) показывает, что при расчете общего объема финансирования пенсий, пособий и единовременных выплат, помимо числа получателей страховых пенсий по старости, существенный вклад в объем финансирования вносят и относительные переменные, такие как доля самозанятых граждан. Примечателен также и тот факт, что в состав подавляющего большинства построенных моделей входит показатель общего количества получателей единовременной выплаты, во многом определяющий характер выходной переменной.

### *Список литературы*

1. Kelekele J. L. Mathematical model of performance measurement of defined contribution pension funds : Magister Scientiae – MSc (Mathematics and Applied Mathematics). University of the Western Cape, 2015. P. 1–58.
2. Mircea I., Covriga M., Serbana R. Some Mathematical Models for Longevity Risk in the Annuity Market and Pension Funds // Procedia Economics and Finance. 2014. № 15. P. 115–122.
3. Официальный сайт Социального фонда России. URL: <https://sfr.gov.ru/info/statistics/> (дата обращения: 01.10.2024).
4. Носков С. И., Медведев А. П. Реализация конкурса регрессионных моделей при оценке объема финансирования социального и пенсионного обеспечения // Инженерный вестник Дона. 2024. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9155](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9155) (дата обращения: 01.10.2024).
5. Носков С. И., Аксенов Ю. Д., Сапожников Ю. М. Уточнение регрессионной многофакторной модели уровня воды в реке Ия (Восточная Сибирь) // Инженерный вестник Дона. 2023. № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8942](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8942) (дата обращения: 01.10.2024).
6. Носков С. И., Аксенов Ю. Д., Сапожников Ю. М. Регрессионное моделирование уровня воды реки Ия в Иркутской области // Инженерный вестник Дона. 2023. № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8838](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8838) (дата обращения: 01.10.2024).

## МАРШРУТИЗАЦИЯ ДАННЫХ В АВТОМОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ

Евгений Александрович Полепкин<sup>1</sup>,  
Алексей Вадимович Идиатуллин<sup>2</sup>,  
Павел Сергеевич Белов<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Ярославский государственный университет  
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

<sup>1</sup>epolepkin@mail.ru

<sup>2</sup>dozor9898@yandex.ru

<sup>3</sup>levap456@mail.ru

**Аннотация.** Проведены сравнение и анализ различных параметров и версий Wi-Fi в области автомобильных самоорганизующихся сетей с точки зрения передачи пакетов между узлами. Результаты исследования показали, что версия Wi-Fi IEEE 802.11p при использовании параметра модуляции OfdmRate54Mbps оказалась наиболее эффективной в аспекте задержки информации.

**Ключевые слова:** маршрутизация данных, VANET, NS-3, Wi-Fi, самоорганизующиеся сети

## ROUTING DATA IN CAR NETWORKS

Eugene A. Polepkin<sup>1</sup>, Alexey V. Idiatullin<sup>2</sup>,  
Paul S. Belov<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

<sup>1</sup>epolepkin@mail.ru

<sup>2</sup>dozor9898@yandex.ru

<sup>3</sup>levap456@mail.ru

**Abstract.** In this paper, we compare and analyze various parameters and versions of Wi-Fi in the field of automotive self-organizing networks from the point of view of packet transmission between nodes. The Wi-Fi IEEE 802.11n version, when using the OfdmRate54Mbps modulation parameter, proved to be the most effective in terms of information latency.

**Keywords:** data routing, VANET, NS-3, Wi-Fi, self-organizing networks

В сети VANET высокомобильные узлы, то есть транспортные средства, могут двигаться в противоположных направлениях. Узлы остаются поблизости друг от друга в течение очень коротких периодов времени. Важно чтобы транспортное средство назначения получило сообщение в течение заданного периода времени. Для обеспечения такой связи сеть должна удовлетворять требованиям критической задержки. Связь в сети VANET должна осуществляться с низкой задержкой. Добиться ее при общении в VANET – сложная задача. Более того, приложения VANET относятся к категории приложений для обеспечения безопасности и комфорта [1].

В целом, пакет прикладных программ NS-3 является эффективным инструментом для моделирования и исследования сетевых технологий, обладающим большим потенциалом для различных научных и практических задач [2]. С его помощью в написанном коде изменялось количество узлов, а также их координаты в пространстве. Увеличение количества узлов в сети может привести к увеличению задержки из-за увеличения трафика, конфликтов доступа к среде передачи данных, увеличения коллизий и других причин [3].

В данной работе рассматриваются параметры модуляции HeMcs1, HeMcs4, HeMcs8, HeMcs11. Под каждую версию Wi-Fi подходят определённые уровни модуляции из-за специфики использования, требований самой сети, параметров модуляции и совместимости сетевых устройств.

С помощью Wireshark получены результаты задержки при различных версиях Wi-Fi и параметров модуляции. По данным значениям построены графики, на которых представлена зависимость задержки от количества узлов.

Как известно, версия Wi-Fi IEEE 802.11ax совместима с параметром модуляции HeMcs. В данной работе рассматриваются такие параметры как HeMcs1, HeMcs4, HeMcs8, HeMcs11, график которых представлен ниже (зависимость задержки в сети в секундах от количества узлов в ней).

Можно заметить, что при увеличении уровня модуляции, уменьшается задержка передачи пакетов. Это происходит из-за увеличения уровня модуляции и улучшения кодирования на более высоких уровнях модуляции. Так же можно проанализировать зависимость задержки передачи от изменения количества узлов

сети. При всех уровнях параметра модуляции HeMcs происходит увеличение задержки при увеличении количества узлов.

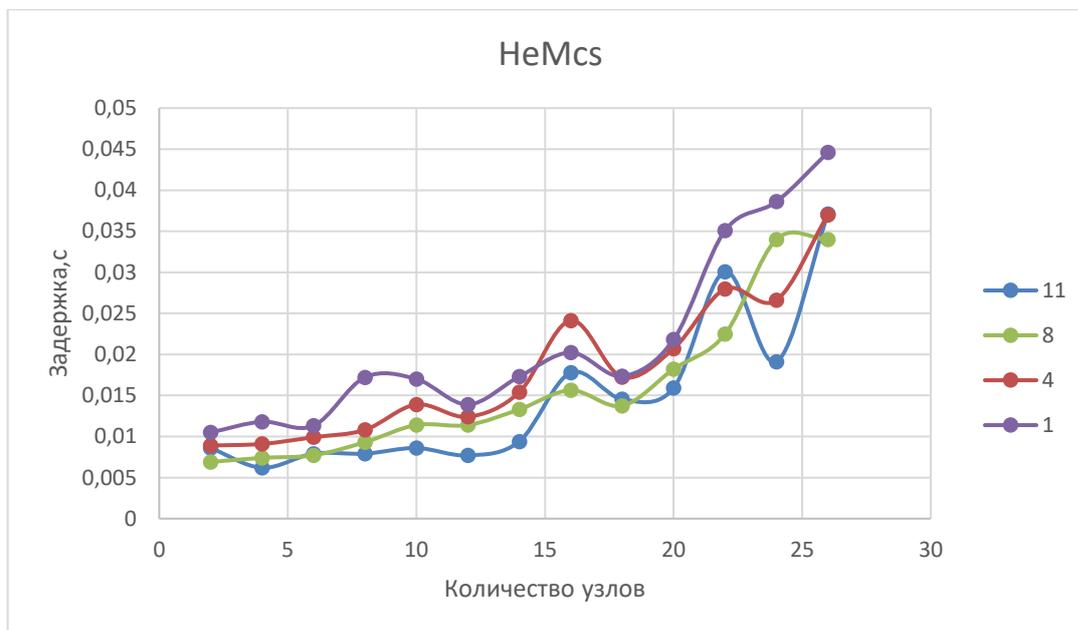


Рис. 1. Параметры модуляции HeMcs

При увеличении количества узлов в сети, возможно увеличение задержки по нескольким причинам:

**1. Увеличение нагрузки на сеть:** При увеличении числа узлов в сети, увеличивается количество передаваемой информации и запросов между узлами, что может привести к перегрузке сети и увеличению задержек в передаче данных.

**2. Маршрутизация и обработка данных:** с увеличением количества узлов в сети, увеличивается сложность маршрутизации данных и обработки пакетов. Каждый узел должен решить, как доставить данные до нужного адресата, что может потребовать дополнительного времени.

**3. Коллизии и конфликты:** При увеличении количества узлов в сети, вероятность возникновения коллизий (столкновений) данных также увеличивается, что может привести к задержкам и повторной передаче информации.

**4. Пропускная способность сети:** Увеличение числа узлов может привести к увеличению нагрузки на сеть и уменьшению ее пропускной способности, что также негативно влияет на скорость передачи данных и увеличивает задержку.

**5. Сетевые протоколы и алгоритмы:** Некоторые сетевые протоколы и алгоритмы могут неэффективно работать при большом количестве узлов, что также может привести к увеличению задержек в сети.

Рассмотрим версию Wi-Fi IEEE 802.11p на параметрах модуляции *OfdmRate6Mbps*, *OfdmRate12Mbps*, *OfdmRate36Mbps* и *OfdmRate54Mbps*, график которых представлен на рис. 2, так как данная версия Wi-Fi совместима с такими параметрами модуляции.

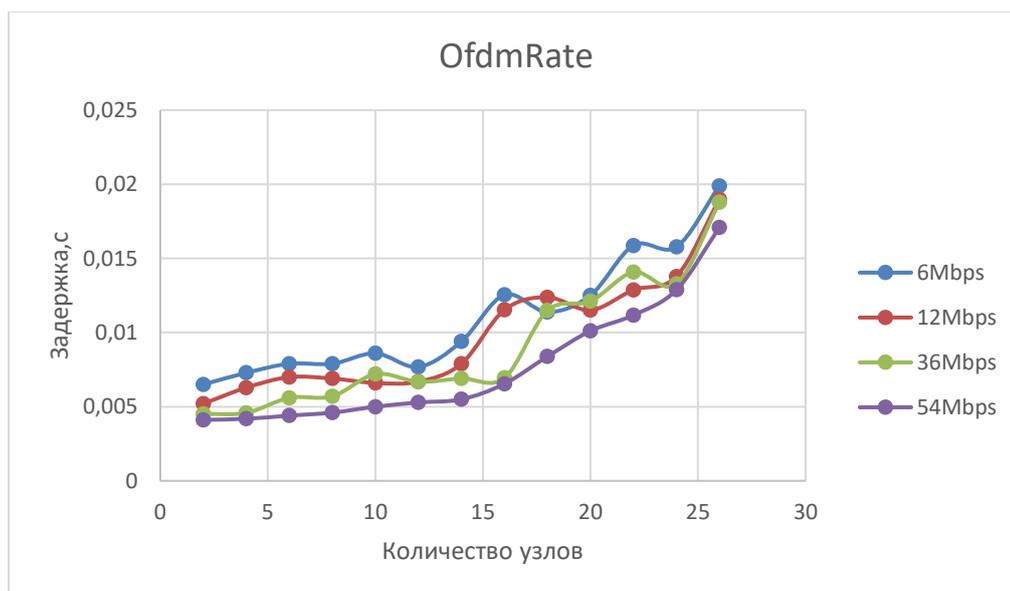


Рис. 2. Параметры *OfdmRate*

Видно, что при увеличении скорости передаваемой информации на разных параметрах модуляции, уменьшается задержка передачи пакетов, а также происходит увеличение задержки при увеличении количества узлов сети.

В табл. 1 представлены медиана и среднее квадратическое отклонение (СКО) полученных значений при моделировании на версиях Wi-Fi IEEE 802.11p и IEEE 802.11ax при различных параметрах модуляции.

Таблица 1

Сравнения медианы и СКО

<i>OfdmRate</i>	6 Mbps	12 Mbps	36 Mbps	54 Mbps
802.11p	0,0094±0,0040	0,0079±0,0039	0,0069±0,0043	0,0055±0,0039
<i>HeMcs</i>	1	4	8	11
802.11ax	0,0173±0,0106	0,0154±0,0084	0,0133±0,0089	0,0094±0,0091

По анализу результатов можно сделать вывод, что задержка намного меньше при использовании версии Wi-Fi IEEE 802.11p и параметра модуляции *OfdmRate*, чем при использовании версии Wi-Fi IEEE 802.11ax и параметра модуляции *HeMcs*.

Кроме того, по полученным результатам можно подтвердить факт того, что при увеличении скорости передачи или уровня модуляции происходит уменьшение задержки передачи в сети.

По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Сравнение эффективности передачи пакетов между узлами для различных параметров сети показало, что при увеличении скорости передачи или уровня модуляции происходит уменьшение задержки передачи в сети. Например, показатели задержки для параметра модуляции *OfdmRate6Mbps* ( $0,0094 \pm 0,0040$  с) уступают *OfdmRate54Mbps* ( $0,0055 \pm 0,0039$  с).

2. Версия Wi-Fi IEEE 802.11p, при использовании параметра модуляции *OfdmRate54Mbps*, оказалась наиболее эффективной с точки зрения задержки информации по сравнению с версией Wi-Fi IEEE 802.11ax при использовании параметра модуляции *HeMcs11* на 0,0039 секунды.

3. При получении результатов для различных версий Wi-Fi и параметров модуляции, можно сделать вывод, что при увеличении количества узлов автомобильной самоорганизующейся сети происходит увеличение задержки информации в соответствии с полученными в данной работе закономерностями.

### *Список литературы*

1. Salman A. [et al.]. Analysis of topology based routing protocols for VANETs in different environments // Proc. of 2016 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET). Beirut, 2016. P. 27–31.

2. Buinevich M., Fabrikantov P., Stolyarova E., Izrailov K., Vladyko A. Software Defined Internet of Things: Cyber Antifragility and Vulnerability Forecast // Proceedings of the IEEE 11th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). Moscow, 2017. P. 293–297.

3. Vinh H. L., Cavalli A. R. Security Attacks and Solutions in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey // International Journal on AdHoc Networking Systems. 2014. Vol. 4, № 2. P. 1–20.

## СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ

Сергей Алексеевич Савин<sup>1</sup>, Никита Алексеевич Усков<sup>2</sup>,  
Диана Дмитриевна Соколова<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия*

<sup>1</sup>cersav11@mail.ru

<sup>2</sup>nuskov@vk.com

**Аннотация.** Разработана модель сверточной нейронной сети, позволяющей добиться средней точности распознавания 95–99 %. Входными данными системы являются отсчеты I/Q-компонент. На ее выходе распознается вид цифровой модуляции входного сигнала со средней точностью 98,44 % при отношении сигнал/шум от 0 до 20 дБ.

**Ключевые слова:** цифровая модуляция, фазовая манипуляция, квадратурная амплитудная модуляция, сверточные нейронные сети, распознавание

## CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS IN THE TASK OF AUTOMATIC RECOGNITION OF DIGITAL MODULATION TYPES

Sergey A. Savin<sup>1</sup>, Nikita A. Uskov<sup>2</sup>, Diana D. Sokolova<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

<sup>1</sup>cersav11@mail.ru

<sup>2</sup>nuskov@vk.com

**Abstract.** A convolutional neural network model has been developed to achieve an average recognition accuracy of 95–99 %. I/Q component users are logged into this system. At its output, the type of digital modulation of the input signal is recognized with an average accuracy of 98,44 % with a signal-to-noise ratio from 0 dB to 20 dB.

**Keywords:** digital modulation, phase manipulation, quadrature amplitude modulation, convolutional neural networks, recognition

### Введение

Современные радиотехнические системы играют важную роль в различных областях человеческой деятельности. Одним из важнейших аспектов таких систем является использование раз-

личных видов модуляции сигналов, от которых во многом зависит эффективность передачи и обработки информации [1–2].

Автоматическое распознавание видов модуляции является критически важной задачей в контексте современных радиокommunikационных систем. Успешное решение этой задачи позволяет не только улучшить качество связи, но и повысить безопасность и эффективность различных приложений.

Традиционные методы распознавания модуляции часто сталкиваются с ограничениями в условиях низкого отношения сигнал/шум, изменяющихся характеристик каналов связи и наличия помех [3–4]. В связи с этим возникает необходимость в применении более мощных и гибких методов, способных адаптироваться к сложным и динамически изменяющимся условиям работы.

Мощным инструментом повышения точности и скорости распознавания различных видов цифровой модуляции являются сверточные нейронные сети (СНС) [5].

### Разработка алгоритма распознавания видов цифровой модуляции при помощи сверточных нейронных сетей

Для решения задачи разработки алгоритма распознавания видов цифровой модуляции выбрана и модифицирована сверточная нейронная сеть CNN\_NET. Схема модификации данной нейронной сети представлена на рис. 1.

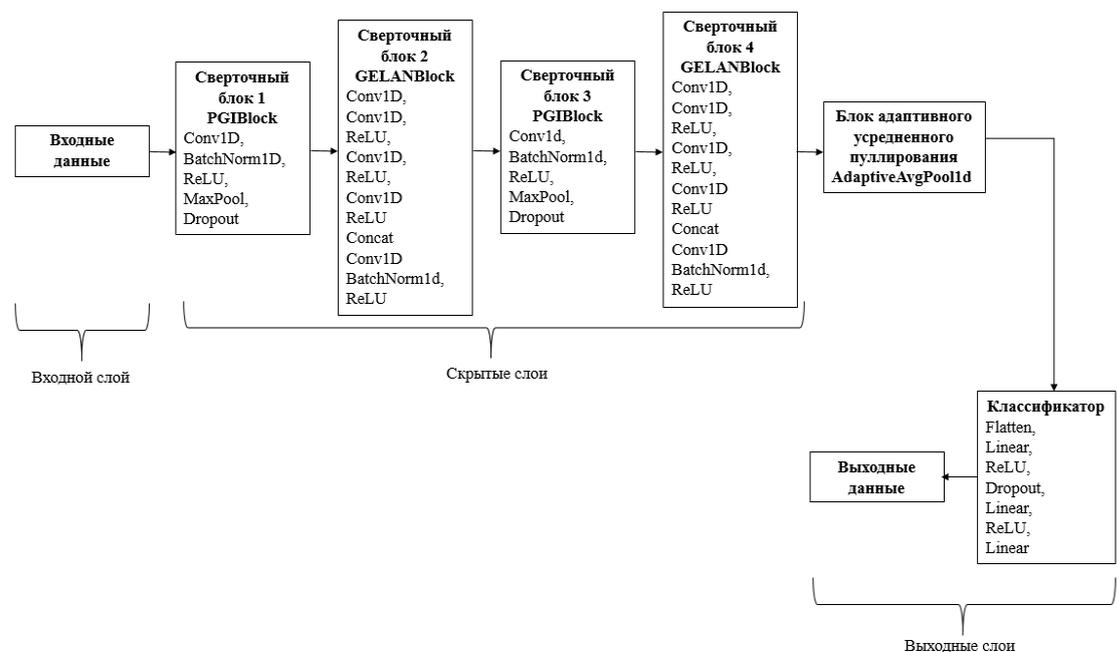


Рис. 1. Структура модифицированной нейронной сети CNN\_NET

В указанной структуре изменены сверточные блоки CNN\_Block на PGIBlock и GELANBlock, которые могут захватывать более сложные зависимости в данных благодаря использованию нескольких сверточных слоев и их конкатенации. Из новых подслоев можно выделить слой Concat. Он используется для объединения (конкатенации) выходов нескольких сверточных слоев и входного тензора, а затем применения дополнительной обработки к полученному объединенному тензору. Работа проведена на наборе данных *RadioML2018.01A*, который последнее время широко используется для классификации радиосигналов. Во время обучения сверточной нейросети размер батча устанавливался равным 64. Количество эпох обучения сети CNN\_NET составляло 100. Отношение сигнал/шум выбрано в диапазоне от 0 дБ до 20 дБ с шагом 2 дБ.

Результаты обучения представлены на рис. 2–4.

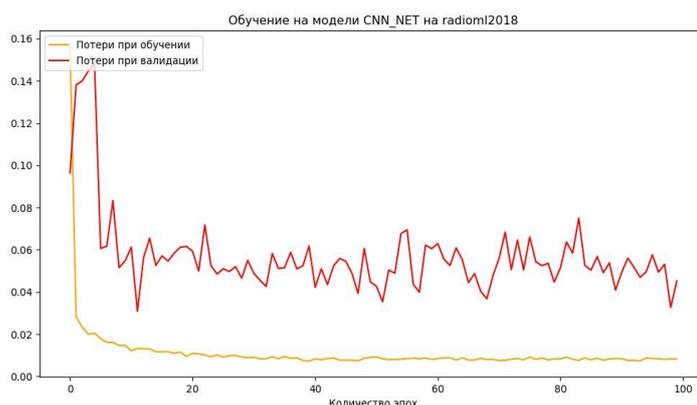


Рис. 2. График потерь CNN\_NET

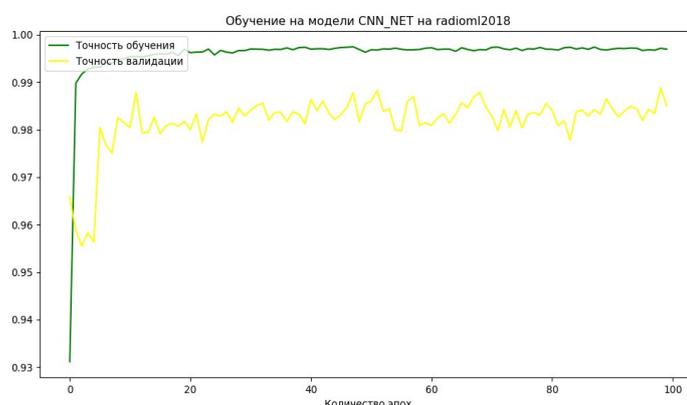


Рис. 3. График точности CNN\_NET

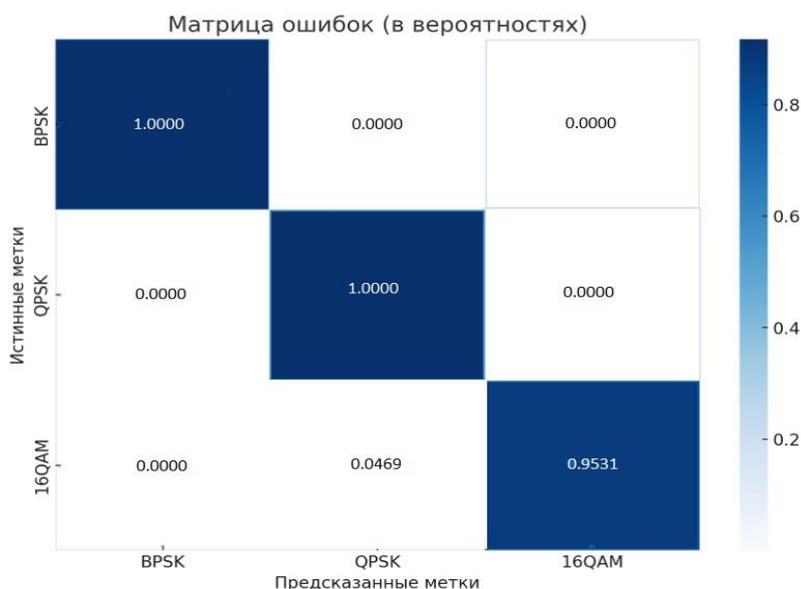


Рис. 4. Матрица ошибок CNN\_NET

### Заключение

Использование сверточной нейронной сети усовершенствованной структуры показало, что точность распознавания в современных системах и сетях связи с модуляцией BPSK, QPSK и QAM-16 при отношении сигнал/шум от 0 дБ до 20 дБ составляет в среднем 98%. Таким образом, рассмотренный метод имеет хорошие результаты при достаточно высоком уровне шума, но слабо устойчив к изменениям характеристик входного сигнала.

### Список литературы

1. Парамонов А. А., Нгуен В. М., Нгуен М. Т. Многозадачная нейронная сеть в задаче распознавания вида qam- и psk-модуляции в условиях параметрической априорной неопределенности // Russian Technological Journal. 2023. Т. 11, № 4. С. 49–58.
2. Nandi A., Zhu Z. Automatic Modulation Classification: Principles, Algorithms and Applications. London : Wiley, 2018. 194 p.
3. Беляева М. Б. Распознавание модуляции: что можно узнать, если заранее ничего неизвестно // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 2. С. 55–63.
4. Аджемов С. С., Кленов Н. В., Терешонок М. В., Чиров Д. С. Методы распознавания видов цифровой модуляции сигналов в когнитивных радиосистемах // Вестник Московского университета. Серия 3, Физика. Астрономия. 2015. № 6. С. 19–27.
5. Крон Дж., Бейлелвельд Г., Аглаэ Б. Глубокое обучение в картинках. Визуальный гид по искусственному интеллекту. СПб. : Питер, 2020. 400 с.

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПЕКЛ-ШУМА НА РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РАДИОДИАПАЗОНА

Алексей Владимирович Сенников<sup>1</sup>,  
Роман Васильевич Ларионов<sup>2</sup>,  
Владимир Вячеславович Хрящев<sup>3</sup>,  
Андрей Леонидович Приоров<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия

<sup>2</sup>rv.larionov@yandex.ru

<sup>3</sup>vhr@yandex.ru

<sup>4</sup>andcat@yandex.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается одна из сопутствующих особенностей снимков в радиодиапазоне – спекл-шум, а также способы его фильтрации классическими пространственными фильтрами. Среди выбранных фильтров был билатеральный и медианный фильтры, фильтр Ли, BM3D и DWM. Качество фильтрации оценивалось по метрикам MSE, PSNR, SSIM и BRISQUE.

**Ключевые слова:** спутниковые изображения, спекл-шум, пространственные фильтры

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SPECKLE NOISE ON OBJECT RECOGNITION IN SAR IMAGES

Alexey V. Sennikov<sup>1</sup>, Roman V. Larionov<sup>2</sup>,  
Vladimir V. Khryashchev<sup>3</sup>, Andrey L. Priorov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

<sup>2</sup>rv.larionov@yandex.ru

<sup>3</sup>vhr@yandex.ru

<sup>4</sup>andcat@yandex.ru

**Abstract.** This paper deals with one of the associated features of radio band images, speckle noise, and the ways of filtering it using classical spatial filters. Among the selected filters were bilateral and median filters, Lee filter, BM3D and DWM. The quality of the filtering was evaluated using the metrics MSE, PSNR, SSIM and BRISQUE.

**Keywords:** satellite images, speckle noise, spatial filters

**Введение.** Методы дистанционного зондирования земной поверхности широко используются в различных отраслях экономики и государственного управления. Одной из таких задач является онлайн-мониторинг наводнений. К сожалению, процесс наводнений часто сопровождается сопутствующими негативными погодными условиями – дождями, облачностью [1–2], которые затрудняют классический анализ данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ). Поэтому в такой задаче целесообразно использование спутниковых изображений радиодиапазона, полученных с помощью радаров с синтезированной апертурой (SAR, PCA). В этом случае можно проводить исследования практически игнорируя негативные атмосферные условия [3]. Однако на изображениях, получаемых с помощью систем PCA, присутствует высокий уровень шума, обусловленный природой обратного рассеяния радара. Самым большим источником шума на изображении PCA является спекл-шум [4]. Для его фильтрации используются как классические пространственные фильтры, так и теория вейвлетов, нелокальные алгоритмы и алгоритмы глубокого обучения.

Целью данной работы является исследование алгоритмов фильтрации спекл-шума на изображения в радиодиапазоне с использованием пространственных фильтров.

**Описание набора изображений.** Для проведения эксперимента использовались изображения PCA в С-диапазоне, полученные на ресурсе Copernicus [5], а также такие классические изображения в оптическом диапазоне, как «Лодка», «Сан-Диего», «Танк». Все изображения являются восьмибитными и имеют разрешение 512x512 пикселей. Изображения в радиодиапазоне состоят из 2 каналов – VV и VH. Изображения в оптическом диапазоне состоят из 1 канала. Примеры изображений представлены на рис. 1.

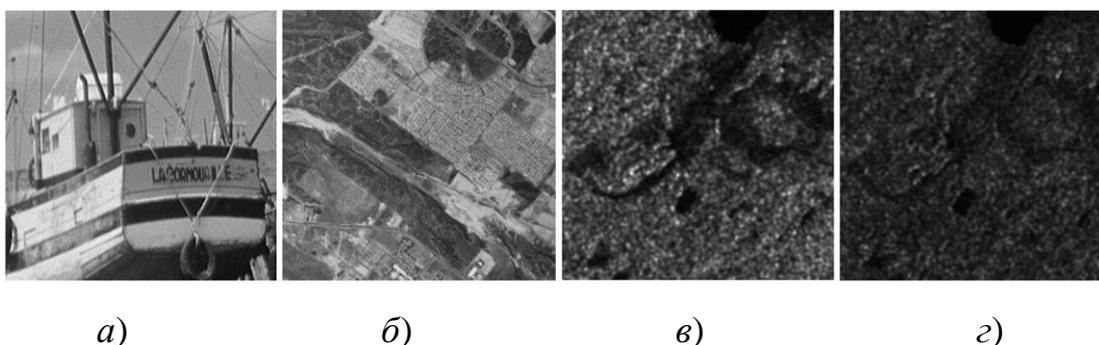


Рис. 1. Примеры тестовых изображений: «Лодка» (а), «Сан-Диего» (б), изображение в радиодиапазоне с каналами VV (в) и VH (г)

**Описание эксперимента.** В ходе эксперимента выбранные изображения были зашумлены спекл-шумом, для моделирования которого была использована следующая формула:

$$noise\_img = img + img * gauss(mean, var),$$

где  $noise\_img$  – зашумленное изображение,  $img$  – исходное изображение,  $gauss(mean, var)$  – случайный набор пикселей с размерностью изображения и нормальным распределением с математическим ожиданием  $mean$  и дисперсией  $var$ . Для моделирования использовалось нулевое математическое ожидание и значения дисперсии – 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1. После этого к зашумленным изображениям применялись различные фильтры с целью уменьшения уровня шума. В качестве фильтров в данной работе использовались билатеральный и медианный фильтр, фильтр Ли, BM3D и DWM. Для оценки качества фильтрации использовались такие метрики оценки качества изображений, как MSE, PSNR, SSIM и BRISQUE.

Рассмотрим результаты исследований фильтрации спекл-шума. Для изображений в радиодиапазоне каждый канал зашумлялся и фильтровался по отдельности. В табл. 1 представлены результаты эксперимента.

Таблица 1

Результаты фильтрации изображений

	В оптическом диапазоне				В радиодиапазоне, канал VV			
	MSE	PSNR	SSIM	BRISQUE	MSE	PSNR	SSIM	BRISQUE
+ Шум	634,99	20,13	0,49	119,64	1486,45	28,84	0,32	74,90
lee	407,00	21,99	0,56	121,82	574,45	28,95	0,52	85,34
bilateral	356,65	22,63	0,59	139,53	614,26	29,90	0,58	108,14
median	242,28	24,09	0,62	159,74	<b>173,22</b>	<b>30,48</b>	<b>0,76</b>	127,84
bm3d	<b>152,90</b>	<b>25,87</b>	<b>0,64</b>	122,19	1486,38	28,84	0,32	75,82
dwm	622,69	20,22	0,49	<b>119,24</b>	1387,21	28,85	0,33	76,20

Для изображений в оптическом диапазоне представлены усредненные результаты при фильтрации после зашумления со значением дисперсии 0,2. Лучше всех обрабатывает фильтр BM3D, на что указывает наибольшее улучшение метрик MSE, PSNR, SSIM.

Для изображения в радиодиапазоне фильтр BM3D по метрикам практически не влияет на качество. На данном изображении лучше показал себя медианный фильтр. Причиной такого различия между фильтрацией является то, что изображения в радиодиапазоне сильно темнее оптических, а пространственные фильтры хуже фильтруют спекл-шум на темных изображениях. На рис. 2 представлен пример фильтрации канала VV, на котором также видно то, что хоть медианный фильтр по метрикам работает лучше остальных, но при этом заметно размывает изображение.

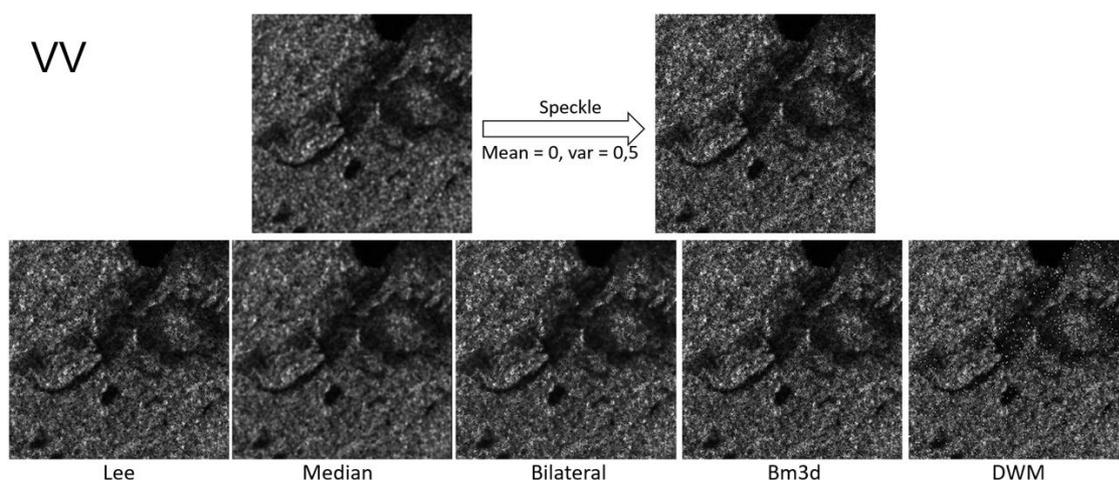


Рис. 2. Зашумление и фильтрация канала VV

**Заключение.** В рамках данной работы было проведено исследование алгоритмов фильтрации спекл-шума, которое показало, что среди пространственных фильтров на изображениях в оптическом диапазоне лучше всех работает фильтр BM3D, что выражается в среднем улучшении PSNR для значений дисперсии с 0.1 до 0.3 на 4,08 дБ. Изображения в радиодиапазоне лучше обрабатывает медианный фильтр. Так, для зашумленных с дисперсией 0,5–1 каналов изображения в радиодиапазоне, среднее увеличение PSNR составило 9,72 дБ. При этом визуально медианный фильтр заметно размывает изображение, что делает актуальным продолжение исследований в данной области обработки и анализа спутниковых изображений.

### *Список литературы*

1. Tellman B., Sullivan J. A., Kuhn C. [et al.]. Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods // Nature. 2021. Vol. 596. P. 80–86.

2. Lv S., Meng L., Edwing D. [et al.]. High-Performance Segmentation for Flood Mapping of HISEA-1 SAR Remote Sensing Images // Remote Sens. 2022. Vol. 14. P. 5504.

3. Robertson L. D. Synthetic Aperture Radar (SAR) image processing for operational space-based agriculture mapping // International Journal of Remote Sensing. 2020. Vol. 41, № 18. P. 7112–7144.

4. Inglada J., Mercier G. A New Statistical Similarity Measure for Change Detection in Multitemporal SAR Images and Its Extension to Multiscale Change Analysis // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2007. № 45. P. 1432–1445. doi: 10.1109/TGRS.2007.893568

5. Copernicus. URL: <https://www.copernicus.eu/en> (дата обращения: 12.07.2023).

УДК 004.3

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЛЕВОМ АРТИЛЛЕРИЙСКОМ СКЛАДЕ**

**Михаил Юрьевич Суркин<sup>1</sup>, Павел Павлович Сафонов<sup>2</sup>,  
Ирина Викторовна Усманова<sup>3</sup>, Юрий Романович Круть<sup>4</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup>Филиал Военной академии материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А. В. Хрулева (г. Пенза), г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>planeta\_sm@mail.ru

<sup>3</sup>ivusm@mail.ru

**Аннотация.** Обоснована актуальность разработки автоматизированной информационной системы, предназначенной для автоматизации деятельности должностных лиц в процессе управления запасами боеприпасов на полевом артиллерийском складе. Отличительной особенностью системы является наличие интеллектуальных компонентов, обеспечивающих формирование рекомендаций по принятию решений в текущей ситуации. Обоснован выбор математического аппарата для разработки модели представления знаний.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, управление запасами боеприпасов, искусственный интеллект, модели представления знаний

# IMPROVING THE PROCESS OF MANAGING AMMUNITION STOCKS AT A FIELD ARTILLERY DEPOT

Michael Yu. Surkin<sup>1</sup>, Paul P. Safonov<sup>2</sup>, Irina V. Usmanova<sup>3</sup>,  
Yuri R. Krut<sup>4</sup>

*<sup>1,2,3,4</sup>Branch of the Military Academy of Logistics named after  
the Army General A. V. Khrulev (Penza), Penza, Russia*

<sup>1</sup>planeta\_sm@mail.ru

<sup>3</sup>ivusm@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the development of an automated information system designed to automate the activities of officials in the process of managing ammunition stocks at a field artillery depot is substantiated. A distinctive feature of the system is the presence of intelligent components that ensure the formation of recommendations for decision-making in the current situation. The choice of a mathematical apparatus for the development of a knowledge representation model is justified.

**Keywords:** automated system, ammunition inventory management, artificial intelligence, knowledge representation models

Основной целью планирования обеспечения войск боеприпасами является поддержание группировки войск в боеспособном состоянии путем своевременного, бесперебойного, полного обеспечения необходимым и достаточным количеством боеприпасов.

В настоящее время основные задачи по автоматизации функций органов управления артиллерийско-техническим обеспечением Вооруженных сил Российской Федерации оперативного уровня в мирное и военное время выполняет автоматизированная система (АС) «Баталия».

Функционирование данной АС в целом осуществляется следующим образом. Информация об обеспеченности войск армии боеприпасами (БП) обрабатывается комплексом средств автоматизации (КСА) службы ракетно-артиллерийского вооружения (РАВ) оперативного уровня, в результате чего вырабатывается управляющее воздействие по своевременному и бесперебойному обеспечению БП в виде распорядительных документов об объемах и сроках их доставки, которые затем поступают в КСА полевого артиллерийского склада (ПАС) оперативного уровня. Под влиянием управляющих воздействий КСА ПАС сохраняет или принимает новое состояние. Данный процесс повторяется до тех пор,

пока соединения (части) не будут обеспечены БП до установленных норм.

Суммарное время, затраченное на прохождение информации о потребности в БП соединений (частей) из КСА службы РАВ, переработку этой информации в командную информацию и доведение ее до КСА ПАС, представляет собой основной параметр, определяющий эффективность цикла управления.

Очевидно, что от того, насколько своевременно будет организована передача данных об обеспеченности и потребности соединений (частей) БП из КСА службы РАВ соединения (части) в КСА службы РАВ армии и далее в КСА ПАС армии, во многом зависит оперативность АСУ.

В состав специального программного обеспечения (СПО) КСА включены комплексы расчетных и информационных задач, обеспечивающих автоматизированную поддержку процесса работы должностных лиц на этапе планирования обеспечения войск БП при подготовке и в ходе ведения боевых действий.

Комплекс средств автоматизации службы РАВ армии, являясь одним из средств управления планированием обеспечения БП в оперативном звене войск, включает в себя, кроме непосредственно технических устройств и СПО – программно-реализованные алгоритмы для решения комплекса задач автоматизации расчетно-аналитической деятельности должностных лиц при управлении планированием обеспечения оперативного звена войск боеприпасами при подготовке и в ходе ведения боевых действий, обеспечивают выполнение необходимых оперативно-тактических расчетов, а также других задач.

Комплекс задач ведения нормативно-справочной информации (НСИ) предназначен для автоматизации процесса ввода, обработки массивов НСИ и классификаторов, использования их при решении задач и выдачи справок по запросам должностных лиц на устройства отображения и документирования.

Расчетные задачи предназначены для осуществления специальных трудоемких оперативно-технических расчетов, направленных на повышение качества и обеспечение оперативности принимаемых решений при управлении процессом планирования обеспечения войск БП как на этапе подготовки, так и в ходе операции. Содержание всех задач и последовательность их

выполнения определяется требованиями многочисленных руководящих документов различного уровня.

Решение информационных задач заключается в ведении учета наличия, движения и качественного (технического) состояния материальных средств на основании первичных документов (ведение документального учета). На основе этого комплекса задач в нижнем звене управления формируются донесения (отчеты и др.) На вышестоящих уровнях производится сверка данных из донесений и отчетов с имеющимися данными.

Однако в современных условиях меняется содержание боевых действий в сторону их неопределенности и существенного риска. Принятие управленческих решений и прогнозирование возможных результатов осуществляется, как правило, в условиях существенных ограничений по времени, многовариантности решений и задач управления, а также характеризуется высокой динамичностью изменения обстановки. Лицо, принимающее решение (ЛПР), обычно сталкивается с необходимостью учета сложной системы взаимозависимых компонентов (ресурсы, условия, желаемые исходы (цели) и т.д.). Способность ЛПР при принятии решения понимать взаимозависимость факторов и учитывать сложность протекающего процесса в значительной степени обуславливает качество прогноза и эффективность принимаемых управленческих решений. В связи с этим ЛПР требуется помощь в принятии особенно нестандартных, быстрых и обоснованных решений.

Для реализации функции поддержки принятия решений в КСА необходимо использовать современные информационные технологии, обеспечивающие возможность поддержки принятия решений, а также моделирования различных процессов и/или их имитации [1, 2]. Реализация данных технологий должна осуществляться в рамках программного обеспечения КСА.

Кроме того, использование новых информационных технологий должно помочь преодолеть ряд серьезных недостатков в организации планирования обеспечения войск БП при подготовке и в ходе операции.

Основными из них являются следующие:

– несоответствие объёма информации, циркулирующей в системе управления, реальным возможностям должностных лиц службы РАВ;

- несоответствие установленной отчетности требованиям оперативности и обоснованности принимаемых решений;
- формирование документов вручную;
- недостаточное применение современной вычислительной техники при выполнении расчетов при планировании.

Разработка методики и алгоритма решения взаимосвязанных между собой расчетных и информационно-расчетных задач планирования обеспечения войск БП позволит повысить оперативность и обоснованность управления планированием обеспечения войск БП.

Опыт специальной военной операции показал, что на текущий момент практическое применение АС «Баталия» ограничивается наличием проблем, связанных с организацией передачи информации между пунктами управления. Поэтому реально в настоящее время для планирования обеспечения БП используются программные средства, полученные в результате инициативных разработок и частично дублирующие функции АС «Баталия». В связи с этим еще одним направлением совершенствования АС «Баталия» является разработка программных средств конвертирования информации с целью ее последующего экспорта в АС «Баталия». Практика разработки автоматизированных информационных систем показала высокую эффективность микросервисной архитектуры программных средств, поэтому в случае принятия такой концепции вопрос сводится к разработке единых требований к форме представления результатов работы.

В настоящее время разработана и проходит опытную эксплуатацию программа расчета обеспечения войск боеприпасами. Она предназначена для расчёта обеспечения войск боеприпасами с учетом их расхода, выдачи со склада и подачи с арсеналов.

Программа обеспечивает определение:

- общего объема имущества;
- потребности в имуществе до определенных норм;
- состояние наличия имущества с учетом планируемых поставок.

Программа позволяет:

- формировать ежесуточный отчет о наличии и движении имущества;
- планировать объемы подач с автоматическим формированием заявки на подвоз имущества;

– контролировать расход имущества согласно установленным нормам.

Результаты опытной эксплуатации позволяют сделать вывод о возможности эффективного использования данной программы с целью повышения оперативности работы ПАС.

### *Список литературы*

1. Сафонов П. П., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Некоторые проблемы процесса управления запасами боеприпасов при ведении боевых действий // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXII Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрождина. Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. С. 243–248.

2. Сафонов П. П., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Комплексный подход к проблеме автоматизации процессов управления запасами ракет и боеприпасов // Вестник СамГТУ. Серия: Взрывчатые вещества, пороха и твердые ракетные топлива. Синтез, свойства, технология. 2023. Вып. 16. Ч. 3. С. 3–18.

УДК 331.1:004

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В HR-ПРОЦЕССЫ**

**Екатерина Олеговна Тарасова<sup>1</sup>,  
Дарья Алексеевна Гарькина<sup>2</sup>,  
Светлана Валентиновна Рындина<sup>3</sup>**

*<sup>1,2,3</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>kate.tara5ova@yandex.ru

<sup>2</sup>gdasha390@gmail.com

<sup>3</sup>svetlanar2004@yandex.ru

**Аннотация.** Искусственный интеллект – это комплекс технологий, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заданного алгоритма) при решении определенных задач, в том числе и в бизнес-деятельности. На основе технологий искусственного интеллекта создаются сервисы, приложения, выступающие

вспомогательным инструментом, ускоряющим выполнение различных процессов с участием персонала или даже без привлечения сотрудников к решению определенных вопросов. Постоянно появляются новые сценарии использования технологий искусственного интеллекта, разрабатываются и совершенствуются продукты на их основе. В сфере управления персоналом инструменты на основе искусственного интеллекта внедряются для поддержки и исполнения таких процессов, как найм, обучение и увольнение.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, предприятие, управление персоналом

## THE INTRODUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN HR PROCESSES

Catherine O. Tarasova<sup>1</sup>, Daria A. Garkina<sup>2</sup>,  
Svetlana V. Ryndina<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>kate.tara5ova@yandex.ru

<sup>2</sup>gdasha390@gmail.com

<sup>3</sup>svetlanar2004@yandex.ru

**Abstract.** Artificial intelligence (AI) is a set of technologies that allows you to simulate human cognitive functions (including self-learning and finding solutions without a given algorithm) when solving certain tasks, including in business activities. On the basis of technologies, services and applications are created that act as an auxiliary tool that accelerates the implementation of various processes with the participation of staff or even without involving employees in solving certain issues. New scenarios for the use of AI technologies are constantly emerging, products based on them are being developed and improved. In the field of personnel management, tools are based on and implemented to support and execute processes such as hiring, training and dismissal.

**Keywords:** artificial intelligence, enterprise, human resources management

Технологии ИИ оказывают огромное влияние на процессы управления персоналом, делаая их более гибкими, адаптивными, персонифицированными и эффективными. Внедрение решений на основе технологий ИИ позволяет компаниям автоматизировать различные рабочие процессы, улучшать качество отбора сотрудников, разрабатывать программы обучения.

Одной из самых трудоемких задач в подборе персонала является обработка резюме. Это один из этапов рекрутинга, т.е. процесса поиска и отбора кандидатов с последующим трудоустройством квалифицированных специалистов соответствующего профиля. ИИ может значительно улучшить процесс отбора и найма сотрудников. Современные алгоритмы машинного обучения способны анализировать резюме кандидатов, выявлять ключевые компетенции и навыки. Программы на основе ИИ могут проводить первичную оценку кандидатов, что позволяет сократить время на обработку резюме и повысить качество отбора. Сотрудником HR-отдела компании, занимающегося рекрутингом, анализируются только те резюме, которые были предварительно отобраны с помощью инструментов ИИ, как удовлетворяющие требованиям вакансии.

Основные процессы рекрутмента, которые может сопровождать и автоматизировать ИИ:

- автоматизация массового набора персонала (обработка звонков с кандидатами, отсев нерелевантных кандидатов),
- автоматизация сбора и упорядочивание данных о кандидатах и об условиях поиска (требованиях к кандидату),
- поиск кандидатов на сайтах с вакансиями по установленным критериям,
- оценка и ранжирование кандидатов,
- планирование подбора.

Генеративный ИИ может выступать в роли помощника рекрутера, помогая описать требования к кандидатам в вакансии, проверить соблюдение законодательных норм, сформулировать основные преимущества работы в компании и т.п.

Таким образом, ИИ создает новый уровень автоматизации процессов подбора кадров на вакантные позиции в цифровом рабочем пространстве для HR-специалистов, уменьшая время на просмотр резюме, способствуя снижению предвзятости при принятии решений и уменьшая число ошибок в процессах.

Но возможности использования искусственного интеллекта для управления персоналом не ограничивается только рекрутментом.

Искусственный интеллект может быть использован для прогнозирования значений важных в контексте управления персоналом показателей. Алгоритмы машинного обучения могут анали-

зировать данные о производительности персонала и в дальнейшей работе предсказывать те или иные проблемы. Например, текучесть кадров или уменьшение работоспособности. Это позволит менеджерам принимать решения, связанные с удержанием талантов или с улучшением рабочей среды.

ИИ также используют для автоматизации рутинных задач. Например, чат-боты на основе генеративного ИИ, могут отвечать на вопросы, связанные с зарплатой, отпусками, командировками, больничными, отгулами и т.п. Это могут быть и более кастомизированные задачи, связанные со спецификой деятельности предприятия, например, как оформить доступ или разрешение, как согласовать какой-то документ. Причем база знаний для бота может постоянно актуализироваться с появлением новых задач, в которых его консультации могут быть полезны сотрудникам. На данный момент на рынке присутствует множество чат-ботов: PuzzleBot, Chatfuel, ManyChat, KitBot и другие. Если чат-боты будут задействованы в управлении персоналом, это позволит снизить нагрузку на HR-отдел в этом направлении и позволит решать более ценные бизнес задачи по развитию персонала, его компетенций, продуктивности и т.п.

ИИ помогает выполнять некоторые рабочие моменты быстрее, это позволяет сосредоточиться на более важных вопросах. Он может находить «дыры» в процессе производства и, например, предлагать способы улучшения командной работы.

ИИ так же выполняет функции/задачи HR-специалиста: обучение персонала, онбординг. В такой системе присутствует расширенная специфичная функциональность для поддержки следующих процессов:

- кадровый аудит;
- прогнозирование прохождения испытательного срока;
- прохождение онбординга с использованием виртуального помощника;
- рекомендации для новых сотрудников от данных предыдущего опыта;
- создание обучающих материалов, описание курсов,
- отработка переговоров с клиентами с помощью голосовых тренажеров,
- анализ эффективности обучение.

Искусственный интеллект на основе проведенного анализа может предоставлять рекомендации по повышению специальных навыков, управлять самочувствием и физическим/психологическим комфортом сотрудников. Рекомендации по физической активности, сбалансированному питанию и т.д. будут более эффективными, если к ним прислушаются не только сотрудники, но и руководители компаний, создав соответствующие рекомендациям условия для труда и отдыха во время перерывов. Индивидуальный подход на основе баланса интересов сотрудника и компании способствует увеличению производительности, а также формирует долгосрочные отношения и уменьшает текучку, что является дополнительной выгодой компании.

Во внедрении ИИ в управление персоналом есть как плюсы, так и минусы.

К положительным моментам можно отнести следующие эффекты от внедрения:

- экономия времени на исполнение процессов;
- повышение мотивации у сотрудников;
- повышение объективности.

Риски, актуализируемые при внедрении ИИ:

- эффективность ИИ напрямую зависит от точности и качества данных;
- использование ИИ может поднять вопрос о конфиденциальности.

Среди сценариев использования инструментов ИИ в управлении персоналом на отечественном рынке есть кейсы, заслуживающие особого внимания. Так в компании Ростелеком используется голосовой помощник на основе ИИ не только для улучшения качества обслуживания, но и для опроса бывших сотрудников, которые ушли из компании, чтобы определить направления для улучшения рабочей среды и снизить текучку квалифицированных кадров [1].

В компании Pymetrics платформа soft skills (гибкие навыки) на основе технологий ИИ помогает в найме и управлении талантами, оценивая способности на основе игровых тестов, выявляя подходящих кандидатов для открытых вакансий [2].

Автоматизация на основе технологий ИИ при подборе кандидатов внедрена в компании HeadHunter: система проводит

интеллектуальный поиск подходящих по выбранным критериям резюме [3].

Успешное внедрение ИИ требует баланса между сохранением человеческого элемента и автоматизацией. Правильное использование позволяет компаниям достичь более высоких результатов в процессах, связанных с кадровым обеспечением деятельности.

### *Список литературы*

1. Искусственный интеллект для HR. URL: <https://blog.bitobe.ru/article/iskusstvennyu-intellekt-dlya-hr/> (дата обращения: 10.09.2024).
2. Homepage/pymetrics. URL: <https://www.pymetrics.ai/> (дата обращения: 10.09.2024).
3. Работа, поиск персонала и публикация вакансий. URL: [https://hh.ru/services?hhtmFrom=employer\\_main](https://hh.ru/services?hhtmFrom=employer_main) (дата обращения: 10.09.2024).

УДК 004.89

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДОБУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ШУМОВ СЕРДЦА НА ФОНОКАРДИОГРАММАХ**

**Артем Игоревич Топников<sup>1</sup>,  
Татьяна Александровна Смирнова<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,  
г. Ярославль, Россия*

<sup>1</sup>topartgroup@gmail.com

<sup>2</sup>tanya270305@mail.ru

**Аннотация.** Исследована возможность применения предобученных нейронных сетей и методики трансферного обучения для классификации шумов сердца на фонокардиографических записях. Проанализирована специфика решаемой задачи, произведено трансферное обучение глубоких нейронных сетей и их тестирование. Описано дальнейшее направление исследований.

**Ключевые слова:** нейронная сеть, трансферное обучение, глубокое обучение, классификация звуков, шумы сердца, фонокардиограмма

# APPLICATION OF PRE-TRAINED NEURAL NETWORKS IN THE TASK OF HEART MURMURS DETECTION IN PHONOCARDIOGRAMS

Artem I. Topnikov<sup>1</sup>, Tatyana A. Smirnova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

<sup>1</sup>topartgroup@gmail.com

<sup>2</sup>tanya270305@mail.ru

**Abstract.** The possibility of using pre-trained neural networks and transfer learning techniques to classify heart murmurs in phonocardiographic recordings is investigated. The specifics of the solving problem are analyzed, transfer training of deep neural networks and their testing are performed. The further direction of research is described.

**Keywords:** neural network, transfer learning, deep learning, audio classification, heart murmur, phonocardiogram

С точки зрения машинного обучения задача выявления шумов сердца на фонокардиограммах может рассматриваться как задача классификации звуковых сигналов. К факторам, осложняющим ее решение, можно отнести:

– относительную редкость (низкую частоту проявления) и высокую значимость одного из классов – наличия шумов в сердце;

– преобладание фонокардиограмм невысокого качества, искаженных шумами, не имеющими отношения к работе сердца;

– невозможность достоверного детектирования шумов для разметки фонокардиографических записей без привлечения медицинских специалистов высокой квалификации.

Наиболее важным событием, привлечшим внимание исследователей к решению рассматриваемой задачи методами машинного обучения, стало проведение в 2022 международного научного конкурса, направленного на создание методов детектирования шумов сердца и предсказания исхода в терминах «Normal» / «Abnormal» [1]. База данных CirCor DigiScore, предложенная исследователям, состояла из записей, сделанных в Бразилии в 2014 и 2015 годах [2]. В рамках этих двух кампаний обследовано 1568 пациентов в возрасте от 0 до 21 года и получено 5272 аудиозаписи, преимущественно из четырех основных мест аускультации сердца.

Длительность сигналов с частотой дискретизации 4 кГц варьируется от нескольких секунд до нескольких десятков секунд.

Общедоступной является порядка 60 % базы CirCor DigiScore – это обучающая выборка, которая предоставлялась участникам конкурса. В ней представлено 695 пациентов с отсутствием шумов (класс «Absent»), 179 – с их наличием (класс «Present») и 68 пациентов, отнесенных к классу «Unknown». Эта метка выставлялась в случае невозможности уверенной интерпретации фонокардиограмм медицинским специалистом, в основном, в связи с сильной зашумленностью сигнала. Для оценки точности детектирования шумов в конкурсе 2022 года использовалась взвешенная точность со следующими весами: 1 – для класса «Absent», 5 – для «Present», 3 – для «Unknown» [1].

Разметка данных представлена как индивидуальными файлами, сопровождающими каждую аудиозапись, так и общим файлом формата .csv, в котором для всех пациентов собрана информация о наличии или отсутствии шумов сердца в отдельных точках аускультации, характеристиках шумов для записей, где они детектированы врачами. Также в этом файле приводится обезличенная информация о каждом пациенте: пол, возраст, рост, вес и т.д.

С учетом небольшого объема данных, доступных для обучения алгоритмов, и их существенной несбалансированности, более выигрышным решением кажется дообучение предобученной нейронной сети, т.е. осуществление трансферного обучения, а не обучение сети с нуля. Этому направлению и посвящено данное исследование.

На первом этапе для дообучения выбрана нейронная сеть YAMNet (Yet Another Mobile Network), обученная ее разработчиками на базе Audioset, состоящей из более чем 2 миллионов 10-секундных аудиофрагментов. Сеть строится на основе архитектуры MobileNetV1 [3] и использует 64-канальные мел-спектрограммы в качестве входных признаков. Так как сеть изначально обучалась на сигналах с частотой дискретизации 16 кГц, то для адекватной работы с записями фонокардиограмм их частоту дискретизацию необходимо поднять до этого значения.

На этапе дообучения имеющаяся часть размеченной базы фонокардиограмм разделена на три подмножества: обучающее, валидационное, тестовое. Эта операция осуществлялась с помощью

функции, представленной группой участников научного конкурса 2022 года [4]. Согласно их статье, оценки точности работы алгоритма, полученные с использованием такого разделения, хорошо согласуются с итоговыми результатами конкурса [4], полученными на валидационном и тестовом подмножествах полной базы, недоступных широкому кругу исследователей.

Процесс дообучения сети YAMNet заключался в обучении выходных полносвязных слоев, отвечающих за классификацию векторов-признаков, получаемых из входных мел-спектрограмм сверточными слоями. Коэффициенты последних в процессе дообучения фиксировались. В качестве оптимизатора использовался алгоритм Adam. Длительность обучения ограничивалась 200 эпохами, а также применением методики ранней остановки обучения (early stopping). Исследовалось разное количество нейронов в предпоследнем полносвязном слое с функцией активации ReLU. Также исследовалось применение методик исключения (dropout) и L2-регуляризации, которое не продемонстрировало существенного эффекта. Аугментация данных не использовалась, на стадии предобработки сигналов применялся фильтр низких частот.

Для учета несбалансированности и практической неравноценности классов, в процессе обучения классификатора при вычислении функции потерь (категориальной кросс-энтропии) использовались веса классов, равные тем, что применялись в рамках конкурса 2022 года для вычисления взвешенной точности.

В рамках этой части исследований для дообученной сети YAMNet максимальная взвешенная точность классификации отдельных фонокардиограмм на валидационном множестве достигла значения 63,49 %. Также проводились исследования сети VGGish, которая уступала по значениям взвешенной точности сети YAMNet.

На тестовом множестве значение взвешенной точности классификации отдельных фонокардиограмм для сети YAMNet составило 66,28 %. Кроме того, производилась оценка взвешенной точности классификации пациентов. Возникновение двух характеристик связано с тем, что для каждого пациента, как правило, доступно несколько фонокардиографических записей. Для вынесения решения по пациенту использовалось простое правило: если

хотя бы в одной точке аускультации алгоритм детектировал наличие шумов сердца, то аналогичное решение принималось для пациента в целом. На тестовой выборке взвешенная точность классификации пациентов для дообученной сети YAMNet составила 67,69 %. Невысокое значение ключевой метрики можно объяснить малым объемом и несбалансированностью базы сигналов, наличием третьего класса в изначально бинарной задаче, значительной зашумленностью звукозаписей и другими факторами. Достигнутое значение взвешенной точности соответствует значениям участников научного конкурса 2022 года, расположившихся примерно в середине итоговой таблицы [1].

На втором этапе исследования в качестве предобученной сети, дообучаемой для классификации фонокардиограмм, выступила нейронная сеть Whisper [5], построенная по схеме «кодер-декодер» с использованием архитектуры Transformer [6]. Основное предназначение сети – мультязычное распознавание речи, однако она изначально создавалась для решения нескольких задач. Для ее обучения использовалось 680 тысячах часов размеченных звуковых записей [5].

Принцип дообучения аналогичен примененному на первом этапе исследования. В качестве предобученной сети, отвечающей за извлечение признаков сигнала, использовалась сеть Whisper base без декодера. Частота дискретизации фонокардиограмм повышалась до 16 кГц, затем одномерные сигналы представлялись в виде 80-канальных мел-спектрограмм, которые последовательно обрабатывались двумя сверточными слоями и кодером на основе архитектуры Transformer [6]. Коэффициенты этих слоев фиксировались при дообучении. Признаки с выхода кодера поступали на обучаемый в ходе исследования классификатор. Для лучшей сопоставимости с результатами первой части исследования основные гиперпараметры классификатора выбирались такими же.

В качестве оптимизатора использовался алгоритм Adam W. С учетом возросшей ресурсоемкости длительность обучения ограничивалась 10 эпохами. Дополнительная предобработка сигналов, аугментация, регуляризация классификатора не применялись. При вычислении функции потерь использовались веса классов, такие же как и в первой части исследования. Максимальное значение взвешенной точности классификации фонокардиограмм на валидационном множестве составило 82,16 %.

На тестовом множестве значение взвешенной точности классификации отдельных фонокардиограмм для сети Whisper составило 83,94 %. Для принятия решения по пациентам использовалось то же правило, что и в первой части исследования. На тестовой выборке взвешенная точность классификации пациентов для дообученной сети Whisper составила 78,27 %, что сопоставимо с результатом лидера научного конкурса 2022 года [1].

Таким образом, проведенное исследование подтвердило перспективность дообучения предобученных нейронных сетей для классификации фонокардиографических сигналов, а также показало значительное преимущество «больших» сетей на основе архитектуры Transformer. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение точности классификации за счет применения аугментации данных, использования при обучении других доступных фонокардиографических записей, более тонкой настройки процесса обучения и совершенствования алгоритма принятия итогового решения по пациенту на основе результата классификации записей из нескольких точек аускультации.

### *Список литературы*

1. Reyna M. A., Kiarashi Y., Elola A. [et al.]. Heart murmur detection from phonocardiogram recordings: The George B. Moody PhysioNet Challenge 2022 // MedarXiv. URL: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2022.08.11.22278688v2>
2. Oliveira J., Renna F., Costa P. [et al.]. The CirCor DigiScope Phonocardiogram Dataset // PhisioNet. URL: <https://physionet.org/content/circor-heart-sound/1.0.3/>
3. Howard A., Zhu M., Chen B. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. URL: <https://arxiv.org/abs/1704.04861v1>
4. Walker B., Krones F., Kiskin I. [et al.]. Dual Bayesian ResNet: A deep learning approach to heart murmur detection // Computing in Cardiology Conference (CinC). 2022. doi: 10.48550/arXiv.2305.16691
5. Radford A., Kim J. W., Xu T. [et al.]. Robust speech recognition via large-scale weak supervision // International conference on machine learning, PMLR. 2023. P. 28492–28518.
6. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N. [et al.]. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. 2017. 12 June. P. 5998–6008.

## **ВСТРАИВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В НЕЗНАЧИМЫЕ ОБЛАСТИ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**Нгок Хунг Фам<sup>1</sup>, Алексей Игоревич Максимов<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С. П. Королёва, г. Самара, Россия*

<sup>2</sup>maksimov.ai@ssau.ru

**Аннотация.** В работе предложен метод встраивания стеганографических цифровых водяных знаков в незначимые области снимков дистанционного зондирования Земли. Контейнером для цифровых водяных знаков служат снимки поверхности Земли с облачностью. Встраивание осуществляется в области снимка, покрытого облаками, при помощи модификации алгоритма JAWS. Предлагаемый метод состоит из сегментации облаков на снимках, формирования на основе обнаруженных облаков маски для встраивания цифровых водяных знаков, генерации шумового шаблона на основе ключа, его встраивания в снимок. Извлечение производится путем оценки шумоподобного сигнала в областях встраивания и поиска пиков взаимной корреляционной функции. В работе проведено сравнительное исследование различных методов семантической сегментации.

**Ключевые слова:** цифровые водяные знаки, цифровая стеганография, семантическая сегментация, цифровые изображения

## **DIGITAL WATERMARK EMBEDDING IN INDIGNIFICANT AREAS OF EARTH REMOTE SENSING IMAGES**

**Ngok Hung Fam<sup>1</sup>, Alexey I. Maksimov<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Samara National Research University, Samara, Russia*

<sup>2</sup>maksimov.ai@ssau.ru

**Abstract.** In this paper, we propose a method for embedding steganographic digital watermarks into insignificant areas of Earth remote sensing images. The container for the digital watermark is an image of the Earth's surface covered with clouds. Embedding is performed using a modification of the JAWS algorithm. The proposed method consists of segmenting clouds in images, forming a mask for embedding the watermark, generating a noise template based on the

key, and embedding it into the image. Extraction is performed by estimating the noise-like signal in the embedding areas and searching for peaks of the cross-correlation function (CCF). We also present a comparative study of various semantic segmentation methods.

**Keywords:** digital watermarking, digital steganography, semantic segmentation, digital imagery

Цифровые водяные знаки [1] – технология, активно используемая в современном мире для защиты авторских прав цифровых данных, основанная на добавлении к защищаемым данным дополнительных меток. В рамках данной работы будем рассматривать класс стеганографические ЦВЗ [1], где встраиваемая метка цифровых данных визуально не различима. На сегодняшний день разработано довольно много различных методов внедрения ЦВЗ в различные виды цифровых данных [2, 3].

Проблема защиты авторских прав стоит достаточно остро для данных дистанционного зондирования Земли. Для данной прикладной области также существует широкий набор известных методов ЦВЗ [4, 5, 6], однако идея встраивания в незначимые области снимков ДЗЗ (к примеру, облака и воду) исследована мало. В данной работе предлагается метод встраивания цифровых водяных знаков в незначимые области снимков на примере облаков.

Предлагаемый метод состоит из двух основных этапов – семантической сегментации снимка ДЗЗ для выделения областей, в которые будет осуществляться встраивание, и непосредственно встраивание/извлечение при помощи модификации алгоритма JAWS [7].

Для первого этапа предлагаемого метода было произведено экспериментальное исследование, в ходе которого была исследована эффективность работы различных нейросетевых моделей для семантической сегментации снимков ДЗЗ. Сегментировались области, покрытые облаками.

Исследуемые нейросетевые модели обучались на датасете 38-Cloud: A Cloud Segmentation Dataset [8]. Этот датасет состоит из 38 аннотированных четырехканальных снимков Landsat 8, разбитых на фрагменты размером 384x384.

Для исследования были взяты следующие модели:

1. FPN [9] с энкодером ResNet18 [10], функция потерь MSE loss [11].

2. UNet [12] с энкодером ResNet34, функция потерь MSE loss.
3. UNet без энкодера, функция потерь MSE loss.
4. UNet с энкодером ResNet34, функция потерь dice loss [11].
5. FPN с энкодером ResNet34, функция потерь dice loss.

Качество работы моделей оценивалось по формуле:

$$\text{loss} = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} \text{MSE}(\text{PredictedMask}[k], \text{TruthMask}[k])}{n},$$

где loss – оцениваемая метрика;  $n$  – количество изображений, на которых валидировалась работа сетей (в данном исследовании это число равно 500).

PredictedMask[k] – результат сегментации сетью  $k$ -го изображения,

TruthMask[k] – ground truth, истинная сегментация  $k$ -того изображения,

MSE() – функция подсчета среднеквадратического отклонения.

Результаты исследования моделей представлены на рис. 1.

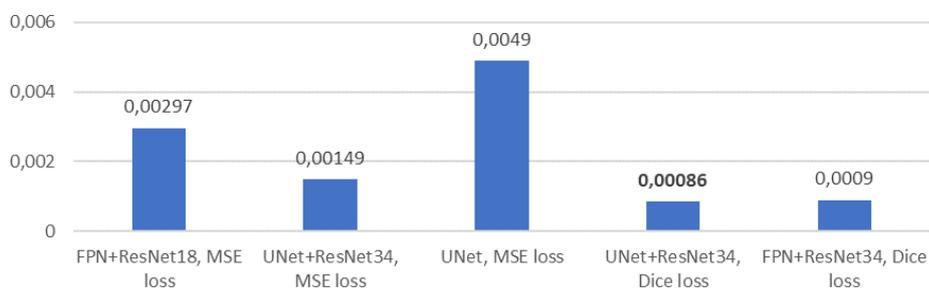


Рис. 1. Схема метода определения вставок в фонограмме на основе кластеризации фрагментов фоновых шумов

Наилучшие результаты продемонстрировала комбинация архитектуры UNet с энкодером ResNet34 и функцией потерь dice loss.

Перейдем ко второму этапу работы предлагаемого метода – модификации алгоритма встраивания ЦВЗ JAWS. Данный алгоритм встраивает битовые последовательности. Обозначим представление этой побитовой последовательности в десятичной системе счисления –  $b$ .

Для встраивания цифрового водяного знака используется шаблон  $P$  размерами  $M \times M$ , представляющий собой гауссовского шума, имеющего нормальное распределение. Данный шаблон формируется при помощи ключа  $K$ . При этом:  $0 < b < M$ . Далее шаблон  $W$ , использующий для встраивания считается по формуле

$$W(m_1, m_2) = P(m_1, m_2) - \text{shift}(P, b),$$

где  $\text{shift}(P, b)$  – циклический сдвиг шума  $P$  по вертикальному и горизонтальному направлениям.

Процесс встраивания:

$$C^W(n_1, n_2) = C(n_1, n_2) + \alpha \cdot \beta(n_1, n_2) \cdot W(n_1 \pmod{M}, n_2 \pmod{M})$$

где  $\beta(n_1, n_2)$  – маска облаков, полученная из нейронной сети.

Данный алгоритм работает только с одноканальным контейнером, а исходное изображение – четырехканальное, поэтому мы будем делать встраивание в 1 канал. В нашем случае канал для встраивания – красный.

Процесс извлечения:

Сначала необходимо оценить шумоподобный сигнал путем усреднения отсчетов заполненного контейнера в блоках размерами  $M \times M$ :

$$\tilde{W}(m_1, m_2) = \frac{1}{S} \sum_{i=0}^{\lfloor N_1/M \rfloor} \sum_{j=0}^{\lfloor N_2/M \rfloor} C^W(i \cdot M + m_1, j \cdot M + m_2)$$

где  $S = \lfloor N_1/M \rfloor \cdot \lfloor N_2/M \rfloor$  – количество блоков. После этого рассчитывается взаимная корреляционная функция (ВКР)  $\tilde{W}(m_1, m_2)$  и  $P(m_1, m_2)$ :

$$B = \mathcal{F}^{-1} \left( \mathcal{F}(\tilde{W}) \cdot \text{conj}(\mathcal{F}(P)) \right)$$

где  $\mathcal{F}(x)$  – двумерное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) для матрицы  $x$ ;  $\mathcal{F}^{-1}(x)$  – двумерное обратное ДПФ для матрицы  $x$ .

На полученном корреляционном поле  $B$  отыскиваются два пика: один положительный, координаты которого задают сдвиг шаблона  $P$ , другой – отрицательный, координаты которого задают сдвиг шаблона  $\text{shift}(P, b)$ . Вектор между двумя этими пиками будет кодировать встроенную информацию  $b$ .

Работа предложенного алгоритма продемонстрирована на рис. 2 и 3.

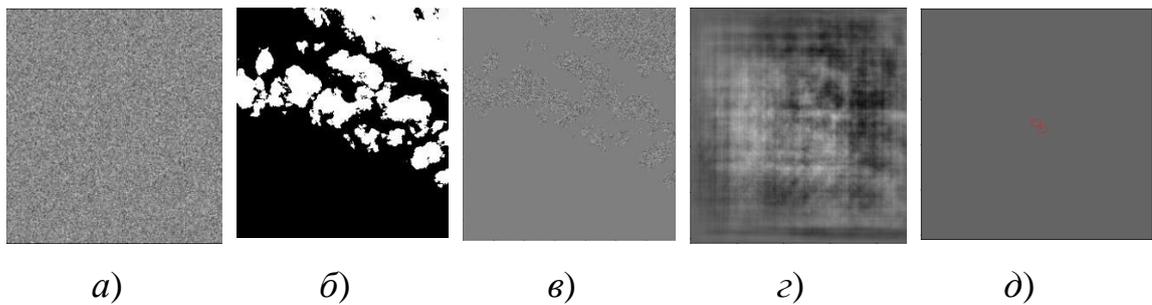


Рис. 2. Пример работы алгоритма: *a* – сгенерированный шумовой шаблон; *б* – маска облаков; *в* – результат умножения маски и шаблона; *г* – корреляционное поле; *д* – найденные корреляционные пики

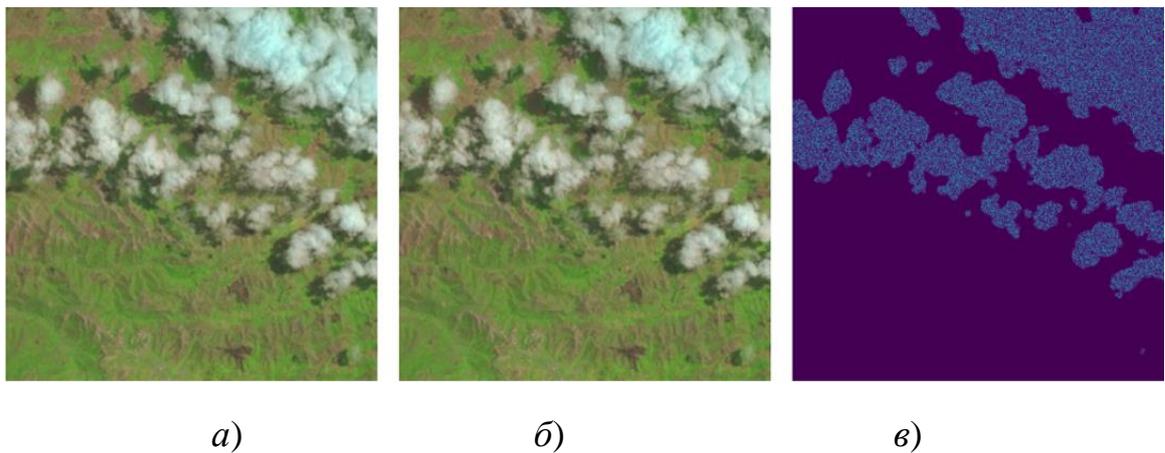


Рис. 3. Пример работы алгоритма: *a* – исходное изображение; *б* – заполненный контейнер; *в* – разностное изображение между (*a*) и (*б*)

В данной работе представлен метод встраивания ЦВЗ в незначимые области снимков ДЗЗ, а именно – в области, покрытые облаками. Предложенный метод основан на семантической сегментации снимков с последующем применением модификации алгоритма JAWS. В дальнейшем авторы планируют развивать исследования в данной области – провести стеганографический анализ данного метода, а также рассмотреть возможность применения других методов встраивания информации, а также возможность встраивания информации в несколько каналов.

### *Список литературы*

1. Cox I. J., Kalker T., Lee H. K. Digital watermarking. Berlin ; Heidelberg : Springer, 1997.

2. Evsutin O., Melman A., Meshcheryakov R. Digital steganography and watermarking for digital images: A review of current research directions // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 166589–166611.
3. Tao H. [et al.]. Robust image watermarking theories and techniques: A review // Journal of applied research and technology. 2014. Vol. 12, № 1. P. 122–138.
4. Barni M. [et al.]. Watermarking-based protection of remote sensing images: requirements and possible solutions // Mathematics of data/image coding, compression, and encryption IV, with applications, SPIE. Bellingham, 2001. Vol. 4475. P. 191–202.
5. Serra-Ruiz J., Qureshi A., Megias D. Entropy-based semi-fragile watermarking of remote sensing images in the wavelet domain // Entropy. 2019. Vol. 21, № 9. P. 847.
6. Tong D., Ren N., Zhu C. Secure and robust watermarking algorithm for remote sensing images based on compressive sensing // Multimedia Tools and Applications. 2019. Vol. 78. P. 16053–16076.
7. Kalker T. [et al.]. Video watermarking system for broadcast monitoring // Security and Watermarking of Multimedia contents, SPIE. Bellingham, 1999. Vol. 3657. P. 103–112.
8. Mohajerani S., Saeedi P. Cloud-Net: An end-to-end cloud detection algorithm for Landsat 8 imagery // IGARSS 2019 IEEE international geoscience and remote sensing symposium. Yokohama, 2019. P. 1029–1032.
9. Lin T. Y. [et al.]. Feature pyramid networks for object detection // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Honolulu, 2017. P. 2117–2125.
10. He K. [et al.]. Deep residual learning for image recognition // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Las Vegas, 2016. P. 770–778.
11. Raschka S., Liu Y. H., Mirjalili V. Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python. Birmingham ; Mumbai : Packt Publishing Ltd, 2022.
12. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical image computing and computer-assisted intervention – MICCAI-2015 : proceedings. of 18th international conference (Munich, Germany, October 5–9, 2015). Munich : Springer International Publishing, 2015. Part III. P. 234–241.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

Ирина Викторовна Усманова<sup>1</sup>,  
Михаил Юрьевич Суркин<sup>2</sup>,  
Иван Павлович Фирстанов<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Филиал Военной академии материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А. В. Хрулева (г. Пенза), г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>ivusm@mail.ru

<sup>2</sup>planeta\_sm@mail.ru

**Аннотация.** Обоснована актуальность разработки комплексной автоматизированной информационной системы, предназначенной для использования в современных образцах вооружения. Рассмотрено содержание процесса технического диагностирования и сформулированы требования к архитектуре системы, обеспечивающие возможность эффективного применения инструментов диагностирования.

**Ключевые слова:** автоматизированная информационная система, техническая диагностика, неисправность, искусственный интеллект

## IMPROVING DIAGNOSTICS OF EQUIPMENT MALFUNCTIONS OF MODERN WEAPONS

Irina V. Usmanova<sup>1</sup>, Michael Yu. Surkin<sup>2</sup>,  
Ivan P. Firstanov<sup>3</sup>

*<sup>1,2,3</sup>Branch of the Military Academy of Logistics named after  
the Army General A. V. Khrulev (Penza), Penza, Russia*

<sup>1</sup>ivusm@mail.ru

<sup>2</sup>planeta\_sm@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the development of an integrated automated information system designed for use in modern weapons is substantiated. The content of the technical diagnostics process is considered and the requirements for the architecture of the system are formulated, ensuring the possibility of effective use of diagnostic tools.

**Keywords:** automated information system, technical diagnostics, malfunction, artificial intelligence

В настоящее время вооружение, военная и специальная техника (ВВСТ), находящаяся на вооружении армии России, может использоваться для борьбы с любым агрессором, посягнувшим на независимость нашей страны. Современные автоматизированные системы управления выполняют важные задачи по автоматизации процессов оперативного управления объектами военного назначения.

Но существует ряд аспектов, влияющих на выполнение поставленной задачи. Основным из них является поддержание ВВСТ в исправном состоянии. Сложность этой задачи многократно увеличивается в связи с необходимостью ее оперативного решения в условиях ведения боевых действий различного характера и, как следствие, высокими требованиями к времени диагностики неисправностей, уровню квалификации личного состава, а также контенту эксплуатационной документации на конкретное изделие.

Для ВВСТ характерно наличие встроенных средств диагностирования, что, однако, не позволяет говорить о всеобъемлющем решении данной проблемы. Определенные сложности, возникающие при этом, обусловили необходимость создания компьютерных методов решения проблем диагностики неисправностей, обычно требующих привлечения специалистов высокого уровня.

Оборудование современных мобильных образцов вооружения имеет следующие особенности:

- в его состав, как правило, входит ЭВМ военного назначения с соответствующим периферийным оборудованием и установленным программным обеспечением;

- кроме оборудования собственно комплекса средств автоматизации присутствует оборудование самого разнообразного назначения, начиная от технических средств, обеспечивающих перемещение личного состава и ЭВМ.

Потому в применяемых в настоящее время образцах вооружения диагностированию подлежит техническое состояние не только оборудования, но и программного и информационного обеспечения различных автоматизированных систем. Следовательно, личный состав, участвующий в обслуживании и эксплуатации современного вооружения, должен иметь обширные знания и устойчивые навыки работы в условиях дефицита времени и ресурсов, характерных для боевых действий.

Для выявления возможных путей совершенствования диагностирования неисправностей оборудования рассмотрим более подробно содержание процесса технической диагностики.

Техническая диагностика решает три взаимосвязанные задачи:

- контроль технического состояния объектов диагностирования. В результате решения этой задачи происходит переход либо к применению объектов по прямому назначению, либо диагностирование продолжается;

- поиск места и определение причин отказа (неисправности). При решении второй задачи должны быть найдены дефектные или поврежденные элементы и выяснена первичная причина отказа;

- прогнозирование технического состояния объекта диагностирования, если заранее известно, что некоторые характеристики объекта постоянно меняются и могут ухудшиться.

Для решения каждой из перечисленных задач необходимы сведения о текущем состоянии объекта диагностирования, а также о результатах технического обслуживания и ремонта в процессе эксплуатации изделия в целом и каждого его компонента в отдельности.

В реальных условиях рядовые исполнители обязаны действовать в соответствии с эксплуатационной документацией, которая зачастую присутствует в единичных экземплярах, практически не имеет поясняющих иллюстраций, требует комплексного применения сразу нескольких документов для решения практических задач. Кроме того, информация, образующаяся в процессе эксплуатации изделия, должна быть занесена в формуляр изделия и прилагаемые к нему документы, а также может и должна использоваться при разработке планов эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники воинского подразделения.

В настоящее время в Вооруженных силах Российской Федерации установлено, что лицо, фактически выявившее неисправность, делает запись в Карточке учета недостатков в состоянии и содержании машины, которая прикладывается к формуляру изделия. Записи, сделанные вручную, трудно поддаются анализу и систематизации, а при смене личного состава расчета информация об особенностях оборудования фактически утрачивается.

В условиях перехода Вооруженных сил Российской Федерации к широкому использованию компьютерных информационных технологий для автоматизации деятельности должностных лиц целесообразно перейти к компьютерному учету и анализу выявленных неисправностей.

Кроме того, все мероприятия, установленные требованиями нормативных документов, личный состав обязан уметь проводить в ограниченное время, так как условия современного боя требуют высокой мобильности и маневренности всех подразделений. Особо отметим, что одним из немаловажных условий эффективной работы личного состава является обеспечение оперативного поиска информации.

Промышленные предприятия, производящие вооружение и военную технику, при разработке эксплуатационной документации на свои изделия и прежде всего формуляров, ориентируются на содержание ГОСТ Р 2.610–2019. Поэтому в случае использования автоматизированной информационной системы (АИС) в реальных условиях воинских подразделений представление информации на экранных формах должно соответствовать привычным образцам оформления эксплуатационных документов.

Объем и содержание учитываемой информации, а также выводы, сформулированные на ее основе, зависят прежде всего от индивидуальных психологических и когнитивных особенностей военнослужащих, уровня их подготовленности, т.е. особенностей, определяющих так называемый «человеческий фактор». Для повышения эффективности процесса диагностирования неисправностей целесообразно использование смысловой информации, что указывает на необходимость применения технологий искусственного интеллекта.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие основные выводы:

- применение средств автоматизации при диагностике неисправностей вооружения и военной техники позволит сократить количество рассматриваемых вариантов поиска причин возникшей неисправности;

- включение внутримашинной базы данных в состав комплекса средств автоматизации создаст информационную базу для обеспечения требования наблюдаемости технического состояния объектов диагностирования;

– применение технологий искусственного интеллекта обеспечивает возможность использования знаний высококвалифицированных специалистов и снизит время на поиск решения, приемлемого в текущей ситуации.

Комплекс средств автоматизации диагностирования неисправностей оборудования может быть реализован как самостоятельная автоматизированная информационная система или как подсистема АИС более широкого назначения, например, в составе АИС, предназначенной для расчета некоторого мобильного комплекса средств автоматизации. В последнем случае традиционные подсистемы, характерные для выбранной предметной области, должны быть дополнены структурными компонентами, реализующими следующие возможности:

– накопление количественной информации о состоянии объектов диагностирования;

– проведение анализа технического состояния объектов диагностирования;

– поиск неисправностей оборудования и способа их устранения;

– прогнозирование технического состояния объектов диагностирования.

Предлагаемый набор компонентов не позволит выполнять мониторинг параметров оборудования в процессе его работы, однако даст возможность зафиксировать факты возникновения и устранения неисправностей и на основании этих данных сделать выводы об интенсивности потока отказов, а также прогнозировать возможность возникновения неисправностей в ближайшем будущем.

### *Список литературы*

1. Булатов А. Г., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Автоматизация учета эксплуатационных данных по изделию Р-142Т(ТО) // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXI Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрождина. Пенза, 2021. С. 164–168.

2. Усманова И. В., Суркин М. Ю., Сафонов П. П., Латюк Н. В. Анализ недостатков в состоянии и содержании изделия Р-142Т(ТО) // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXIII Междунар. науч.-техн. конф. / под ред. В. И. Горбаченко, В. В. Дрождина. Пенза : Изд-во ПГУ, 2023. С. 164–168.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Анастасия Михайловна Ушакова<sup>1</sup>,  
Кирилл Сергеевич Красавин<sup>2</sup>,  
Андрей Леонидович Приоров<sup>3</sup>,  
Владислав Дмитриевич Набилков<sup>4</sup>

*<sup>1,2,3,4</sup>Ярославский государственный университет  
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

<sup>1</sup>anastasiaaushakova@gmail.com

<sup>2</sup>krasskir93@gmail.com

<sup>3</sup>andcat@yandex.ru

<sup>4</sup>cans1194fan@gmail.com

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию сверточных нейронных сетей в задаче классификации модулированных радиосигналов. В качестве исходных использовались данные из ресурса DeepSig, а именно база модулированных радиосигналов RadioML2018.01A. Приведены графики зависимостей, показывающие точность обучения сверточной нейронной сети, а также матрицы ошибок классификации с 8 видами модулированных радиосигналов.

**Ключевые слова:** цифровая модуляция, сверточные нейронные сети, распознавание, передача данных

## IMPROVING THE ACCURACY OF AUTOMATIC CLASSIFICATION OF DIGITAL MODULATION TYPES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Anastasia M. Ushakova<sup>1</sup>, Kirill S. Krasavin<sup>2</sup>,  
Andrey L. Priorov<sup>3</sup>, Vladislav D. Nabilkov<sup>4</sup>

*<sup>1,2,3,4</sup>P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia*

<sup>1</sup>anastasiaaushakova@gmail.com

<sup>2</sup>krasskir93@gmail.com

<sup>3</sup>andcat@yandex.ru

<sup>4</sup>cans1194fan@gmail.com

**Abstract.** The work is devoted to the study of convolutional neural networks in the problem of classification of modulated radio signals. The data from the DeepSig resource, namely – the base of modulated radio signals

RadioML2018.01A, was used as the source. Dependency graphs are presented showing the accuracy of training a convolutional neural network, as well as classification error matrices with 8 types of modulated radio signals.

**Keywords:** digital modulation, convolutional neural networks, recognition, data transmission

## **Введение**

Автоматическая классификация модуляции (АМС – Automatic Modulation Classification) относится к классу задач различения типа модуляции сигналов беспроводной связи. При передаче информации между однотипными средствами связи в условиях сложной помеховой обстановки идентификация схемы модуляции является основным условием точного восстановления информации. В случае наличия разных типов радиооборудования знание типа модуляции имеет решающее значение в процессе радиомониторинга с целью определения вида радиоизлучения при обнаружении объектов связи [1–2].

Классические методы АМС можно разделить на две категории: основанные на правдоподобии и основанные на признаках. Методы, основанные на правдоподобии, позволяют получить результат классификации путем вычисления функции отношения правдоподобия [3]. Однако получение предварительной информации о принятом радиосигнале является трудоемкой задачей, так как максимизация функции отношения правдоподобия для оценки неизвестных параметров требует больших вычислительных затрат.

Методы, основанные на признаках, решают проблему автоматической классификации типов модуляции, используя функции, созданные вручную и основанные на знании предметной области. Они извлекают характеристики с помощью предустановленных правил расчета, таких как кумулятивные значения высокого порядка, мгновенная амплитуда и спектральная плотность мощности. Затем эти характеристики передаются в классификатор для определения типа модуляции. Вычислительная сложность этих методов относительно невысока, а выбор признаков зависит от ручного анализа.

В процессе АМС выявляется необходимость адаптации признаков для выделения конкретного типа модуляции, что является трудоемкой задачей в условиях отсутствия информации о принятых радиосигналах.

В последние годы глубокое обучение извлекло пользу из нейросетевых технологий, что позволило получить более детальную информацию из входных данных, демонстрируя высокую

производительность в задачах классификации, сегментации и детектирования.

Целью работы является повышение точности классификации типа цифровой модуляции с помощью различных архитектур сверточных нейронных сетей.

**База данных для обучения сетей.** Исходные данные для обучения нейронных сетей взяты из ресурса DeepSig [4]. Расположенная на нем база данных RadioML2018.01A содержит синтетические смоделированные компоненты 24 типов модуляций.

В рамках данной работы исследованы 8 типов модуляций: 4-ASK, BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM.

**Обучение сетей.** Во время обучения нейросетей размер мини-пакета устанавливается равным 64. Количество эпох обучения сетей ResNet34 и ResNet50 составляет 50, общее количество классов – 8, размер информационного пакета – 1024, тестовая выборка – 20 % исходных данных.

Архитектуру описывают несколько основных характеристик: количество слоев, типы этих слоев, количество нейронов (единиц) в каждом слое, функции активации каждого слоя, размерность данных ввода и вывода. Существует много типов слоев для моделей глубокого обучения. Слои convolutional и pooling layers, использующиеся в архитектуре ResNet, классифицируют или выполняют обнаружение объектов [5–7].

**Результаты тестирования сетей.** На рис. 1 приведены вероятности правильного и ошибочного определения типа модуляции обученных моделей сетей ResNet34 и ResNet50. Значения, которые не входят в главную диагональ, показывают вероятность ошибки.

НАСТОЯЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	4-ASK	89,43	5,53	1,20	1,76	1,94	0,14	0,00
	BPSK	3,92	86,21	2,87	2,85	1,86	2,13	0,16
	QPSK	5,61	3,94	74,98	6,54	7,38	1,21	0,18
	8-PSK	15,30	0,56	4,90	61,50	16,70	0,96	0,08
	16-PSK	6,11	0,13	1,65	27,60	43,87	20,64	0,00
	16-QAM	6,22	0,40	1,80	3,11	21,00	40,76	23,01
	64-QAM	19,56	0,59	0,96	5,91	6,82	20,69	31,96
	256-QAM	18,64	3,34	3,63	6,58	5,06	7,22	40,13
		4-ASK	BPSK	QPSK	8-PSK	16-PSK	16-QAM	64-QAM
ПРЕДСКАЗАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ								

a)

НАСТОЯЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	4-ASK	96,39	0,12	0,00	2,10	1,27	0,12	0,00
	BPSK	3,62	83,40	2,70	4,39	3,85	1,92	0,12
	QPSK	4,04	0,42	79,13	4,33	10,82	1,14	0,06
	8-PSK	14,40	0,30	2,22	57,80	24,08	1,14	0,06
	16-PSK	5,66	0,12	1,44	25,96	45,56	21,26	0,00
	16-QAM	5,12	0,30	1,26	4,27	25,71	37,69	20,84
	64-QAM	23,80	0,36	1,26	4,75	5,89	18,71	27,38
	256-QAM	24,40	0,24	1,26	4,69	5,71	9,38	34,50
		4-ASK	BPSK	QPSK	8-PSK	16-PSK	16-QAM	64-QAM
ПРЕДСКАЗАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ								

b)

Рис. 1. Матрица ошибок классификации: a – ResNet34; б – ResNet50

На рис. 2 представлена зависимость точности классификации типов модуляции сетей ResNet34 и ResNet50 от количества эпох.

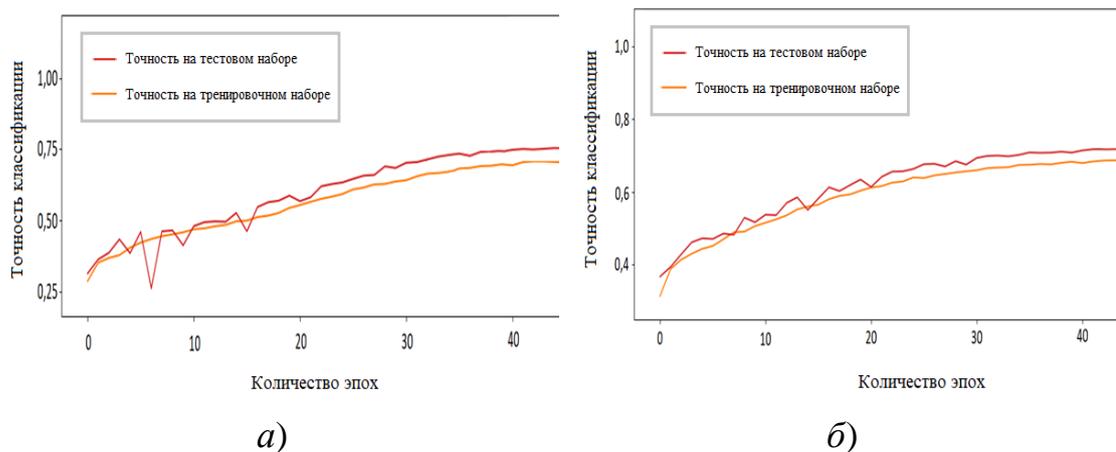


Рис. 2. Зависимость точности классификации от количества эпох:  
*a* – сеть ResNet34; *б* – сеть ResNet50

**Заключение.** Произведен анализ метода классификации модулированных радиосигналов на основе сверточных нейронных сетей ResNet34 и ResNet50. Результаты показывают, что сеть ResNet34 распознает модуляцию 4-ASK с вероятностью 96,39 %, BPSK – 83,40 %, QAM-256 – 19,82 %. Наибольшая вероятность ошибки при определении вида модуляции у пары QAM-256 и QAM-64. Максимальная точность распознавания составила 74,89 %.

В ходе тестирования сети ResNet50 выявлено, что наилучшие результаты модель предсказывает 4-ASK модуляцию с вероятностью 89,43 %, BPSK – 86,21 %, наихудшая вероятность 15,4 % у QAM-256. Наибольшая вероятность ошибки при определении вида модуляции у пары QAM-256 и QAM-64. Максимальная точность распознавания составила 76,47 %.

В табл. 1 представлена точность классификации исследуемых типов модуляции при тестировании сетей ResNet34 и ResNet50.

В результате сравнительного анализа выявлено, что при некоторых типах модуляции модель, обученная на основе архитектуры ResNet50, превосходит модель на ResNet34 в следующем процентном соотношении: 4-ASK на 6,96 %, QPSK на 4,15 %, 16-PSK на 1,69 %, 256-QAM на 4,42 %.

**Точность классификации типов модуляции**

Тип модуляции	Точность классификации, %	
	ResNet34	ResNet50
4-ASK	89,43	96,39
BPSK	86,21	83,40
QPSK	74,98	79,13
8-PSK	61,50	57,80
16- PSK	43,87	45,56
16-QAM	40,76	37,69
64-QAM	31,96	27,38
256-QAM	15,40	19,82

Аналогично, в четырех других исследуемых типах модуляции модель, обученная на основе архитектуры ResNet34, превосходит модель на ResNet50 в следующем процентном соотношении: BPSK на 2,81 %, 8-PSK на 3,7 %, 16-QAM на 3,07 %, 64-QAM на 4,58 %.

Повышения точности классификации типов модуляции удалось добиться при настройке гиперпараметров сети, особенно количества скрытых слоев.

**Список литературы**

1. Аджемов С. С., Чиров Д. С., Терешонок М. В. Распознавание видов цифровой модуляции в системах когнитивного радио. М. : МТУСИ, 2018. 224 с.
2. Zhang D., Ding W., Zhang B. [et al.]. Automatic modulation classification based on deep learning for unmanned aerial vehicles // Sensors (Basel). 2018. Vol. 18 (3). P. 924.
3. Zhu Z., Nandi A. K. Automatic Modulation Classification: Principles, Algorithms and Applications. London : Wiley, 2015. 192 p.
4. RF datasets for machine learning. URL: <https://www.deepsig.ai/datasets>
5. Sainath T. N., Vinyals O., Senior A., Sak H. Convolutional long short-term memory, fully connected deep neural networks // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Brisbane, 2015. P. 4580–4584.
6. Лекун Я. Как учится машина: Революция в области нейронных сетей и глубокого обучения : пер. с фр. М. : Альпина, 2021. 335 с.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М. : Вильямс, 2008. 1104 с.

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГАЗИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ

Екатерина Александровна Тюлюнова<sup>1</sup>,  
Артем Владимирович Тетер<sup>2</sup>,  
Олег Константинович Головнин<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Самарский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения Российской Федерации,  
г. Самара, Россия

<sup>1,2</sup>ООО «Открытый код», г. Самара, Россия

<sup>2,3</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С. П. Королёва, г. Самара, Россия

<sup>1</sup>etuylunova@gmail.com

<sup>2</sup>ateter17@gmail.com

<sup>3</sup>golovnin@bk.ru

**Аннотация.** Разработана методика управления процессом социальной газификации на основе данных. Методика реализована на базе цифровой платформы интегрального мониторинга ресурсоснабжения и внедрена в эксплуатацию на территории Самарской области. Применение предложенных решений повышает общую эффективность управления проектами социальной газификации.

**Ключевые слова:** управление на основе данных, мониторинг, социальная газификация, геоинформационные системы, системы поддержки принятия решений

## DATA-DRIVEN MANAGEMENT OF THE GASIFICATION PROCESS

Catherine A. Tyulyunova<sup>1</sup>, Artem V. Teter<sup>2</sup>,  
Oleg K. Golovnin<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Samara State Medical University, Samara, Russia

<sup>1,2</sup>Open Code LLC, Samara, Russia

<sup>2,3</sup>Samara National Research University, Samara, Russia

<sup>1</sup>etuylunova@gmail.com

<sup>2</sup>ateter17@gmail.com

<sup>3</sup>golovnin@bk.ru

**Abstract.** A methodology for data-driven management of the social gasification has been developed. The methodology has been implemented on the basis of a digital platform for integrated resource supply monitoring and has been put

into operation in the Samara Region. The use of the proposed solutions increases the overall efficiency of managing social gasification projects.

**Keywords:** data-driven, monitoring, social gasification, geoinformation systems, decision support systems

В настоящее время во всех регионах Российской Федерации при федеральной поддержке осуществляется газификация объектов собственности физических и юридических лиц [1]. В течение последних нескольких лет принята нормативная правовая документация, регламентирующая сроки и порядок выполнения планов по газификации: поручения Президента РФ №907 от 31 мая 2020 года, № 753 от 2 мая 2021 года, распоряжение Правительства РФ № 1152-р от 30 апреля 2021 года. Однако процесс социальной газификации осложняется ввиду возникающих сложностей, вызванных необходимостью согласования различных процессов и данных, порождаемых и потребляемых процессами, на стыке разделов влияния и ответственности участников данного процесса. Кроме этого, получение знаний из семантически неоднородных и распределенных источников данных в традиционных системах интеграции данных затруднено [2], но анализ данных для принятия управленческих решений должен выполняться на основе прогнозной и предиктивной аналитики, что позволит организовать работу в режиме потоковой передачи данных [3].

В целях устранения возникающих противоречий разработана методика управления процессом социальной газификации на основе данных (data-driven). Методика предполагает создание и поддержание функционирования единой цифровой среды поддержки принятых решений на основании загружаемых данных и мониторинга показателей по газификации. В основе информационного обеспечения – многослойная интерактивная карта, которая агрегирует в себе данные по объектам, населенным пунктам, административным районам с поддержкой наложения инфраструктурных слоев с целью получения реальной картины о статусе газификации региона, определения эффективного решения, направленного на увеличение количества газифицированных объектов, с возможностью разграничения прав доступа к информации в зависимости от роли участника. В качестве участников процесса социальной газификации обозначены органы исполнительной власти, региональный оператор газификации, газораспределительные организации,

органы местного самоуправления, многофункциональные центры и конечные потребители.

Управление и отслеживание информации, связанной с договорами на предоставление услуг газификации, осуществляется с помощью манипулирования основной сущностью – договором, который инкапсулирует информацию о текущем статусе, типе и адресе объекта и показателями газификации. Каждый конкретный договор имеет свою историю изменений (событий), фиксирующую даты и характер внесенных редакций (версий), а также пользователя (или автоматизированную систему), ответственного за эти изменения. Все изменения в договорах регистрируются для обеспечения прозрачности процессов и контроля над развитием проекта газификации объекта. Логическая модель данных, используемая при этом, приведена на рис. 1.

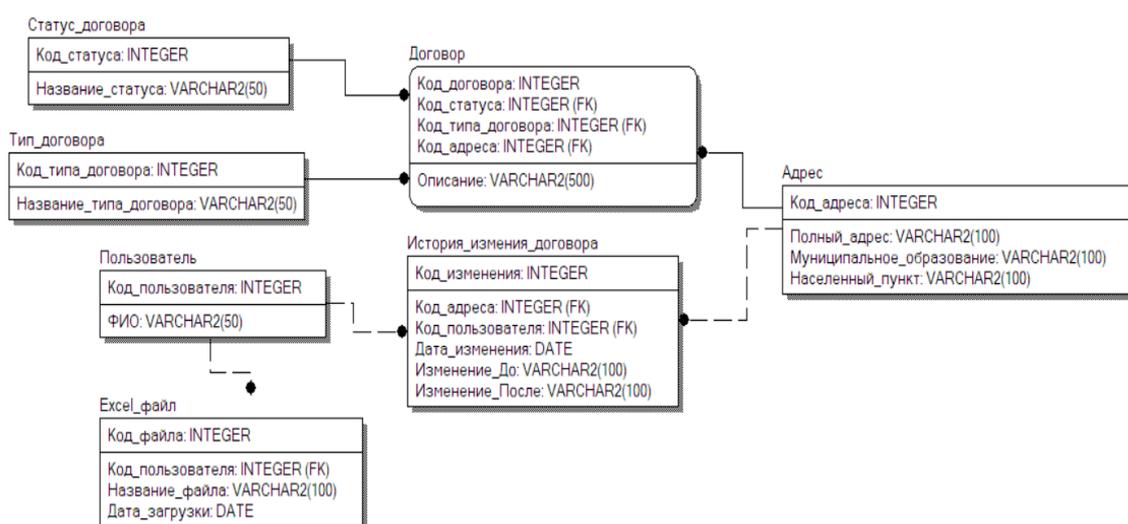


Рис. 1. Логическая модель данных в процессе управления газификацией

Адреса объектов газификации включают в себя информацию о полном адресе, муниципальном образовании и населенном пункте, что обеспечивает точность и корректность данных для мониторинга. Важным элементом выступает история изменений договоров, которая позволяет регистрировать изменения, хранить информацию о предыдущих и текущих состояниях, а также отслеживать, кто из пользователей внёс соответствующие правки.

Разработанная методика реализована как плагин на базе Цифровой платформы интегрального мониторинга ресурсоснабжения [4]. Плагин подготовлен на языке программирования Python с использованием веб-фреймворка Django. Для реализации

веб-части плагина используется Django Rest Framework, с помощью которого обеспечивается поддержка RESTful API. Плагин поддерживает загрузку и хранение файлов в формате Excel для обеспечения совместимости с ранее осуществляемыми мероприятиями по мониторингу процесса газификации. Для работы с Excel-файлами используется библиотека PyExcelerate. Запуск задач по обработке данных договоров и связанных с ними таблиц выполняется с помощью системы распределенных задач Celery.

Плагин обеспечивает общедоступный сервис, который позволяет конечным пользователям отслеживать ход исполнения заявки на газификацию, а также оценивать общую динамику процессов газификации региона, что обеспечивает прозрачность и формирование полной картины ситуации. Любой конечный пользователь может перейти по общедоступной ссылке и увидеть статус газификации региона, населенных пунктов или конкретного объекта. Для населения доступна информация об общем количестве объектов и их статусе, о наличии технической возможности в выбранном населенном пункте. Для поддержки оперативной обратной связи предусмотрена форма взаимодействия с региональным оператором газификации. Процесс управления договорами представлен на рис. 2.

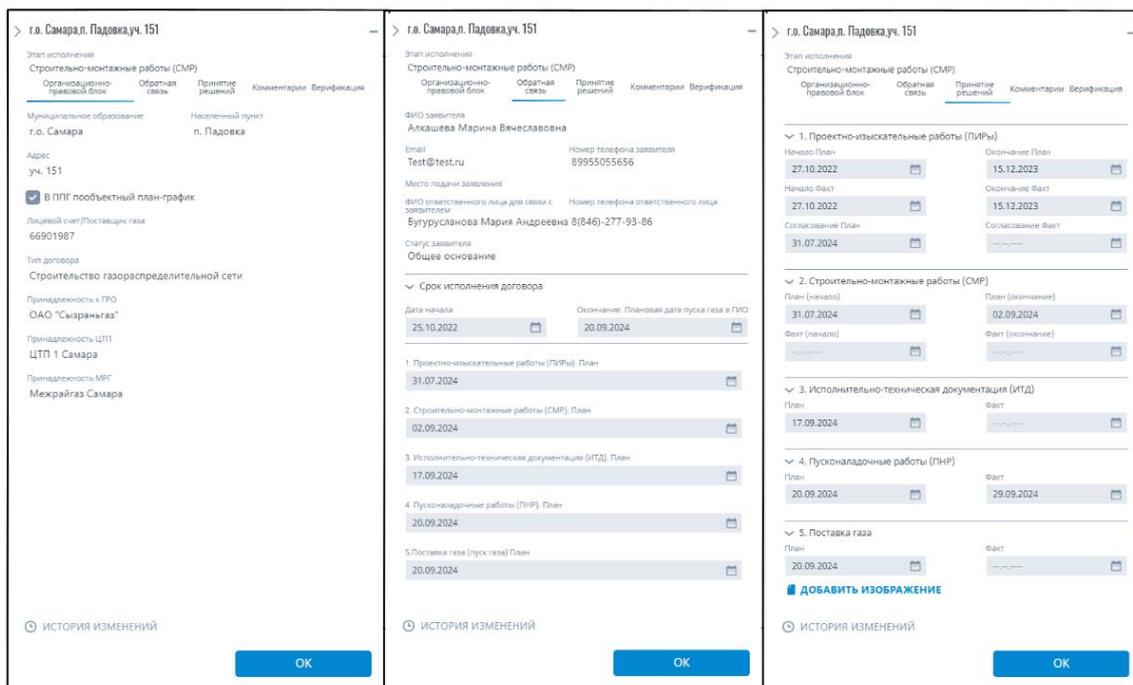


Рис. 2. Процесс управления договорами в разработанном плагине

Кроме этого, плагин обеспечивает функционал для лиц, принимающих решения – инструмент мониторинга газификации объектов с возможностью детализированного просмотра по всему региону. Сервис обеспечивает возможность в оперативном режиме отслеживать статус исполнения региональных и федеральных программ по газификации органами исполнительной власти, что позволит повысить уровень достоверности и качества информации о технологическом присоединении к сетям газоснабжения. Сервис позволяет наглядно оценить общее положения региона в части исполнения пообъектного плана газификации. Процесс ситуационного мониторинга представлен на рис. 3.

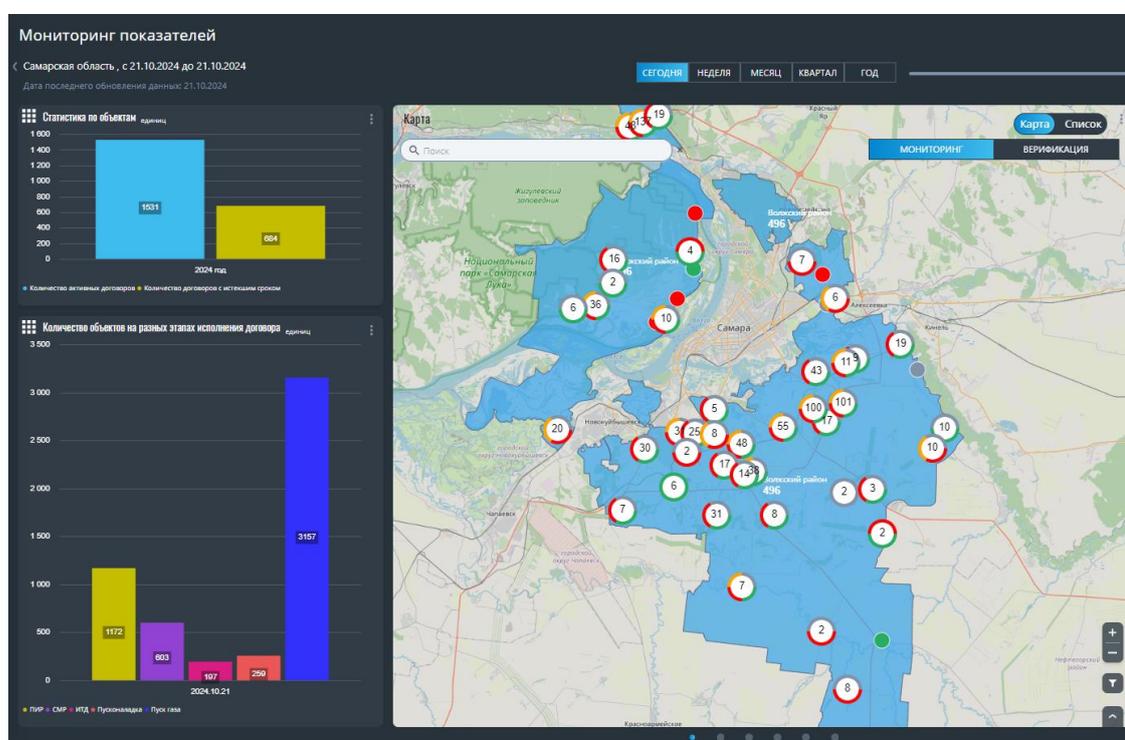


Рис. 3. Процесс ситуационного мониторинга социальной газификации

Разработанные решения внедрены на территории Самарской области, где ими ежедневно пользуются от 30 до 40 пользователей. Внедрение разработанных решений улучшает процессы планирования и распределения ресурсов, снижает риск возникновения ошибок и дублирования данных, а также повышает общую эффективность управления проектами социальной газификации.

### *Список литературы*

1. Семикашев В. В., Гайворонская М. С. Анализ текущего состояния и перспективы газификации России на период до 2030 г. // Проблемы прогнозирования. 2022. № 1 (190). С. 91–100.
2. Багутдинов Р. А., Степанов М. Ф. Методы интеграции, уменьшение размеров и нормализация обработки разнородных и разномасштабных данных // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 2. С. 39–44.
3. Трофимов В. В., Трофимова Л. А. О концепции управления на основе данных в условиях цифровой трансформации // Петербургский экономический журнал. 2021. № 4. С. 149–155.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616797 Российская Федерация. Цифровая платформа интегрального мониторинга ресурсоснабжения / Азаров А. В., Александрова М. В., Головнин О. К. [и др.] ; заявитель и правообладатель ООО «Открытый код» – № 2023614655 ; заявл. 14.03.2023 ; опубл. 03.04.2023, Бюл. № 4.

УДК 004.056

## **ХРАНЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ АВТОРОВ СТАТЕЙ**

**Андрей Михайлович Цыбулов**

*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

amc12@list.ru

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос защиты и хранения редакцией научного журнала персональных данных авторов статей. Авторы вместе со статьёй передают о себе следующую информацию: имя, фамилию, отчество, контактный телефон, должность и место работы. Эти сведения относятся к персональным данным. Проведен анализ законодательства, регламентирующего обработку персональных данных, определены основные методы хранения и защиты персональных данных. Выполнен расчет стоимости услуг по защите и хранению персональных данных в облачном хранилище.

**Ключевые слова:** научная статья, персональные данные, обработка, облачное хранилище

# STORING PERSONAL DATA OF ARTICLE AUTHORS

**Andrey M. Tsybulov**

*Penza State University, Penza, Russia*

amc12@list.ru

**Abstract.** The issue of protection and storage of personal data of authors of articles by the editorial board of a scientific journal is considered. The authors, together with the article, provide the following information about themselves: first name, last name, patronymic, contact phone number, position and place of work. This information is related to personal data. An analysis of the legislation regulating the processing of personal data is conducted, the main methods of storage and protection of personal data are determined. The cost of services for the protection and storage of personal data in cloud storage is calculated.

**Keywords:** scientific article, personal data, processing, cloud storage

В процессе подготовки научной статьи важную роль играет правильность и корректность подачи статьи автором в редакцию. Каждая редакция в своей редакционной политике устанавливает требования к подаче и техническим параметрам статей, основанные на требованиях ВАК и ГОСТ [1, 2].

В соответствии с IV ч. Гражданского кодекса Российской Федерации (раздел VII «Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации») [3], а также с требованиями статьи 9 Федерального закона от 27 сентября 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» [4] представляемые в журнал статьи должны сопровождаться лицензионным договором о передаче Учредителю журнала неисключительных авторских прав и Соглашением на публикацию и обработку персональных данных.

Авторы вместе со статьей передают данные о себе: имя, фамилия, отчество, контактный телефон, должность и место работы, относящиеся к персональным данным.

Работу с персональными данными регулирует закон 152-ФЗ «О персональных данных» [4]. Такими данными считается любая информация, которая прямо или косвенно относится к физическому лицу – субъекту персональных данных, т.е. это информация, позволяющая идентифицировать конкретного человека.

Обработка персональных данных – любая совокупность действий (операций), совершаемых с использованием или без использования средств автоматизации с персональными данными.

Согласно закону 152-ФЗ «О персональных данных» [4]: Оператор персональных данных – государственный, муниципальный орган, юридическое или физическое лицо, самостоятельно или совместно с другими лицами организующие и (или) осуществляющие обработку персональных данных, а также определяющие цели обработки персональных данных, состав персональных данных, подлежащих обработке, действия (операции), совершаемые с персональными данными.

Таким образом, редакция является оператором персональных данных.

Целью данной работы является определение оптимального варианта хранения персональных данных авторов (не более 100 человек/год).

Хранение персональных данных – важная задача. Законодательство России устанавливает, что руководитель организации обязан обеспечить комплексную защиту персональных данных. Если хранение сведений, относящихся к персональным данным, проводится ненадлежащим образом, руководство организации привлекают к административному или уголовному наказанию, согласно КоАП или УК РФ [5, 6].

Поэтому гарантирование правильного хранения персональных данных, как и безопасность сведений, относящихся к коммерческой тайне, – первоочередная задача службы информационной безопасности частных компаний и государственных учреждений.

В зависимости от вида персональных данных, различают два носителя конфиденциальной информации:

- бумажный;
- электронный.

С целью оперативного доступа к базам данных авторов и учитывая большой объём информации, персональные данные авторов в редакциях периодических изданий в подавляющем большинстве хранятся в электронном виде.

На сегодняшний день существует четыре основных способа хранения электронных документов:

1. Съёмные носители.
2. Облачный электронный архив.
3. Собственный электронный архив.
4. Электронные архивные программы.

Опуская первый и четвертый способы хранения ввиду их не надежности и неудобства оперативного пользования, рассмотрим следующие варианты размещения и хранения: собственный сервер, облачное хранилище или облачное хранилище, аттестованное по закону ФЗ-152 [4].

Согласно закону [4] хранить персональные данные можно не только на собственном сервере, но и в арендованном облачном хранилище. Можно пользоваться облачными хранилищами иностранных провайдеров и даже хранить данные в облачных хранилищах, которые не аттестованы по ФЗ-152 [4]. Есть только одно существенное ограничение – облачное хранилище должно находиться на территории России.

### *Хранение данных на собственном сервере*

Федеральный закон «О персональных данных» (ФЗ-152) [4] ввел понятие «информационная система персональных данных». Она состоит из следующих компонентов:

- 1) персональные данные;
- 2) базы данных, в которые собраны персональные данные;
- 3) серверы, на которых хранятся базы данных;
- 4) софт, который обрабатывает персональные данные, например, CRM;
- 5) компьютеры;
- 6) ПО для защиты персональных данных – антивирусы, криптозащита, межсетевые экраны и прочее.

В том случае, если редакция хранит персональные данные на своем сервере, она самостоятельно определяет уровень угроз. Также она разрабатывает и внедряет средства защиты баз данных, серверов и компьютеров.

При наивысших уровнях защиты УЗ-1 и УЗ-2 редакция должна выполнить следующие действия.

Установить серверы в защищенном месте, ограничить к ним доступ и установить запрет на подключение напрямую. Определить, какие сотрудники будут работать с персональными данными и настроить доступ. Установить программное обеспечение для защиты от угроз – межсетевые экраны и антивирусы, а также использовать в работе программное обеспечение, сертифицированное

ФСТЭК. Также необходимо обеспечить резервное копирование данных. При самом высоком уровне угроз УЗ-1 – установить криптографическую защиту [7].

### ***Хранение данных в облачном хранилище, не аттестованном по ФЗ-152***

В этом варианте редакция арендует у провайдера сервер или виртуальную машину. Меры защиты при этом редакция внедряет самостоятельно. Провайдер лишь предоставляет инфраструктуру. Взять на себя часть ответственности по соблюдению ФЗ-152 [4] он не сможет, так как облако не аттестовано.

Если редакция размещает данные в облачном хранилище, но не доверяет провайдеру, она может использовать криптографическую защиту. Зашифровать можно виртуальные машины и каналы передачи данных. Для этого нужны средства криптографической защиты с сертификатом ФСБ.

### ***Хранение данных в облачном хранилище, аттестованном по ФЗ-152***

В этом варианте задача хранения персональных данных упрощается. Провайдер облачного хранилища берет на себя защиту облачной инфраструктуры клиента согласно требованиям Роскомнадзора и ФСТЭК. Вдобавок он помогает редакции внедрить меры защиты на клиентской стороне. Кроме того, облачный провайдер может предоставить возможность развернуть дополнительные средства безопасности по модели IaaS или PaaS.

Важный момент: при размещении персональных данных в сертифицированном облаке редакция остается оператором персональных данных и продолжает нести ответственность согласно ФЗ-152. Облачный провайдер только хранит и уничтожает персональные данные, а также защищает инфраструктуру, которую сдает в аренду. То есть провайдер отвечает перед оператором, а оператор перед законом.

Очевидно, что первый вариант (хранение данных на своем сервере) потребует значительных финансовых затрат на покупку и настройку оборудования, привлечение квалифицированного персонала для его обслуживания, к тому же велика вероятность утери базы данных из-за поломки оборудования. В случае хранения в облачном хранилище, не аттестованном по ФЗ-152 также

необходимо привлекать квалифицированный персонал для шифрования и защиты информации, но уже обойдется без покупки и обслуживания дорогостоящего оборудования. Хотя при этом придется платить абонентскую плату за пользование облачным сервером. При хранении персональных данных в облачном хранилище, аттестованном по ФЗ-152 редакции получает ряд преимуществ, получаемых от провайдера, таких как:

- рекомендации по хранению персональных данных.
- расчет необходимых вычислительных мощностей в облаке.
- организация закрытого контура для персональных данных.
- помощь с подготовкой необходимых документов и внутренних регламентов для работы с персональными данными.

В облачном хранилище стоимость обеспечения информационной безопасности распределяется на большое количество заказчиков. В итоге стоимость услуг несопоставима со стоимостью покупки аппаратных и программных средств для обеспечения такого же уровня безопасности. Кроме того, на провайдера ложатся все задачи по своевременному обновлению средств информационной безопасности. За возможные инциденты облачный провайдер несет финансовую ответственность перед заказчиками. Любой сбой или утечка информации тут же становятся известны на рынке, риски потерять клиентов очень высоки. При этом провайдер не имеет доступа к персональным данным, которые принадлежат редакции.

Произведём расчет стоимости аренды облачного сервера, аттестованного по ФЗ-152, для редакции – оператора персональных данных авторов научных статей. По состоянию на ноябрь 2024 г. поисковик Яндекс выдает более 50 предложений по организации облачного хранилища, аттестованного по ФЗ-152. Учитывая минимальные технические требования, необходимые для работы с персональными данными, аренда облачного хранилища обойдется от 4000 руб./месяц. При выборе провайдера необходимо учитывать не только стоимость хранения, но и обращать внимание на удобство пользования, техническую поддержку, надежность.

### **Вывод**

В статье проведен анализ законодательства, регламентирующего обработку персональных данных, определены основные

методы хранения и защиты для редакции периодического издания. Выполнен расчет стоимости услуг защиты и хранения персональных данных в облачном хранилище, аттестованного по ФЗ-152.

### *Список литературы*

1. Об утверждении правил формирования перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, и требований к рецензируемым научным изданиям для включения в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук : приказ Министерства образования и науки РФ № 1586 от 12.12.2016. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/35137>

2. ГОСТ 7.0.7–2021 Статьи в журналах и сборниках. Издательское оформление. М., 2021.

3. Гражданский кодекс Российской Федерации (ч. 7) № 51-ФЗ от 30.11.1994 (ред. от 16.12.2019) // Собрание законодательства РФ. 1994. 5 декабря. Ст. 3301.

4. О персональных данных : федер. закон № 152-ФЗ от 27.07.2006 (последняя редакция). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_61801/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/)

5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях № 195-ФЗ от 30.12.2001 (ред. от 24.04.2020) // Собрание законодательства РФ. 2002. 7 января. Ст. 1.

6. Уголовный кодекс Российской Федерации от № 63-ФЗ 13.06.1996 (ред. от 07.04.2020) // Собрание законодательства РФ. 1996. 17 июня. Ст. 2954.

7. Об утверждении Составы и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных : приказ ФСТЭК России № 21 от 18.02.2013 (ред. от 14.05.2020). URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_146520/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146520/)

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ГРАФИЧЕСКИХ И ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Мария Владимировна Шестакова<sup>1</sup>,  
Анастасия Александровна Головнина<sup>2</sup>,  
Олег Константинович Головнин<sup>3</sup>

*<sup>1,3</sup>Самарский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения Российской Федерации,  
г. Самара, Россия*

*<sup>1,2</sup>ООО «Открытый код», г. Самара, Россия*

*<sup>2,3</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С. П. Королёва, г. Самара, Россия*

<sup>1</sup>mariaromanenko42494@gmail.com

<sup>2</sup>anastasiya.stolbova@bk.ru

<sup>3</sup>golovnin@bk.ru

**Аннотация.** Разработана система для извлечения знаний из нормативно-правовой и конструкторско-технологической документации. Система реализует комбинацию технологий на основе искусственного интеллекта. Результаты работы могут использоваться в системах автоматизированного проектирования, PLM/PDM-системах, BIM-системах, а также для автоматизации экспертной работы.

**Ключевые слова:** атрибуты, нейронная сеть, оптическое распознавание

## KNOWLEDGE MINING FROM GRAPHIC AND TEXT DOCUMENTS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Maria V. Shestakova<sup>1</sup>, Anastasia A. Golovnina<sup>2</sup>,  
Oleg K. Golovnin<sup>3</sup>

*<sup>1,3</sup>Samara State Medical University, Samara, Russia*

*<sup>1,2</sup>Open Code LLC, Samara, Russia*

*<sup>2,3</sup>Samara National Research University, Samara, Russia*

<sup>1</sup>mariaromanenko42494@gmail.com

<sup>2</sup>anastasiya.stolbova@bk.ru

<sup>3</sup>golovnin@bk.ru

**Abstract.** A system for extracting knowledge from regulatory and design documentation has been developed. The system implements a combination of

technologies based on artificial intelligence. The results of the work can be used in CAD, PLM/PDM systems, BIM systems, as well as for automating expert work.

**Keywords:** attributes, neural network, optical character recognition

Извлечение знаний из документации является актуальной задачей в контексте цифровизации различных отраслей промышленности и в сфере государственного управления. Проверка и использование требований нормативно-технической или нормативно-правовой документации выполняется как вручную, так и с использованием средств автоматизации, которые чаще всего базируются на методах анализа естественного языка [1].

Поскольку при автоматизированной обработке документации происходят ошибки, связанные с неоднородностью представления данных в анализируемых документах, современные подходы предполагают объединение различных методов для повышения эффективности целевого решения [2]. Широкое распространение в последние годы получают методы на основе алгоритмов глубокого обучения для обработки естественного языка, применение которых позволяет не только извлекать знания, но и классифицировать их, выстраивая взаимосвязи между документами [3]. Другой известный подход предполагает автоматизацию построения онтологии и графа знаний на основе проблемно-ориентированного корпуса для конкретной предметной области [4].

В настоящей работе мы комбинируем методы обработки естественного языка, методы на основе искусственного интеллекта, большие языковые модели и онтологию предметной области для автоматизации построения базы знаний и дальнейшего семантического анализа конструкторско-технологической или нормативно-правовой документации. Отличительная особенность предлагаемого подхода – использование на всех этапах обработки графа опроса, который включает в себя набор концепций, отношений и ограничений, определяющих структуру и взаимосвязи между атрибутами и их значениями в документах.

Разработана автоматизированная система, реализующая предложенный подход. Система построена на основе библиотек подпрограмм (SDK) для текстопонимания и текстогенерации на основе технологий машинного обучения [5]. SDK содержит ряд оригинальных компонентов для разработки систем оптического распознавания и извлечения атрибутов. SDK выступает в качестве

«ядра» для разработки системы, обеспечивая работу с документами в различных форматах, в том числе цифровых. Система разработана на языке программирования Python 3.7 с использованием веб-фреймворка Django 3.2.6. Система может функционировать локально в контуре предприятий внедрения, не требует подключения к сети Интернет.

Функциональные возможности системы позволяют выполнить оптическое распознавание машинописного и рукопечатного текста, документов распространенных форматов, конструкторской документации, чертежей, осуществить их семантический разбор и выделить отдельные атрибуты. Например, обученные модели искусственного интеллекта способны локализовать и выделить атрибуты из основных надписей на чертежах, определить их тип, выполнить постобработку, а также разобрать на отдельные компоненты спецификации для понимания электронной структуры изделия (рис. 1).

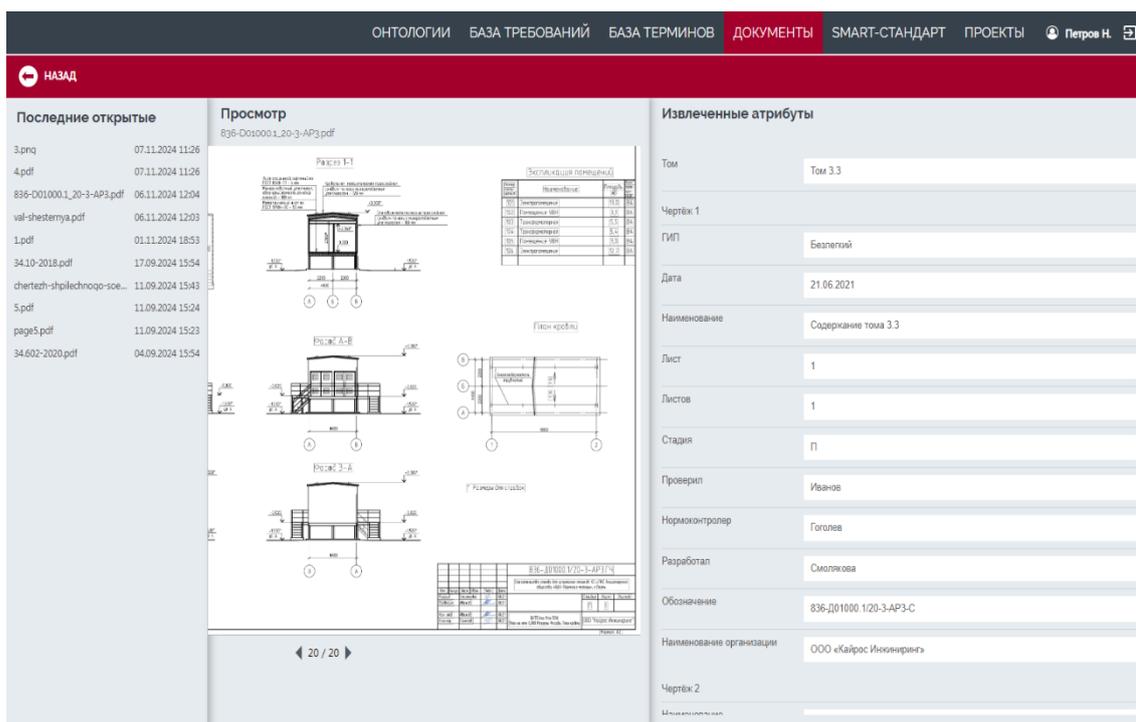


Рис. 1. Страница выделения атрибутов в системе

Система работает в соответствии с графом опроса, что позволяет извлекать и обрабатывать информацию из распознанного текста. На основе обработанного массива документации и извлеченных атрибутов формируется онтологическая база знаний.

Онтология представлена в виде семантической сети, где узлы представляют концепты предметной области, требования или отдельные атрибуты, а дуги – отношения между ними. На базе сформированной онтологии в системе решаются различные задачи. Например, формируются базы знаний терминов и требований на основе проанализированных текстов регламентирующих документов, отраслевых и государственных стандартов (рис. 2).

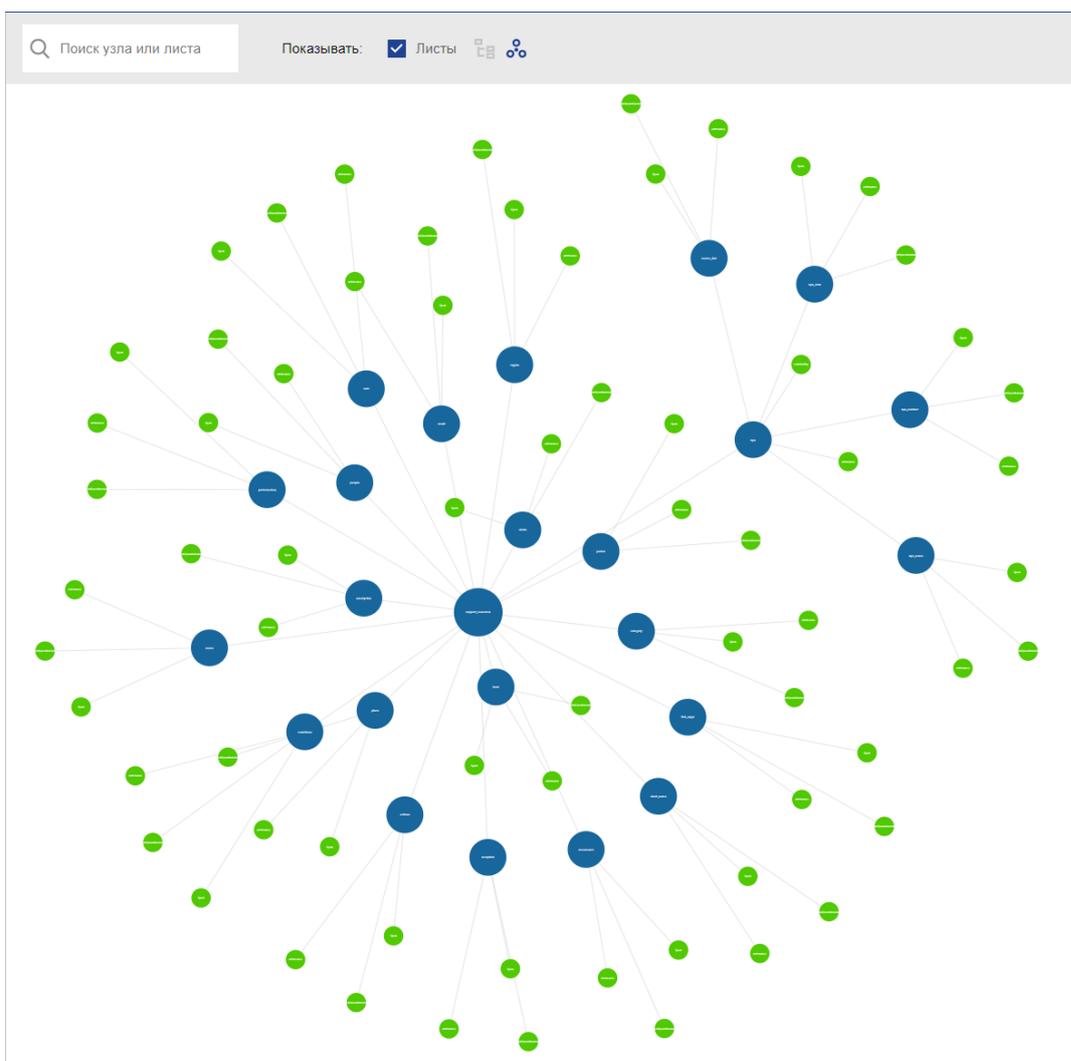


Рис. 2. База знаний системы

По онтологической базе знаний могут создаваться новые документы на основе имеющихся образцов в соответствии с имеющимися в базе знаний требованиями. Также реализуется сравнение документов и поиск семантически похожих фрагментов текста.

Система обладает широкими возможностями по интеграции с существующими системами, базами данных, файловыми

хранилищами, в том числе системами класса PLM/PDM. Одним из эффективных применений является их интеграция в интеллектуальный электронный архив – онлайн-платформу, которая позволяет организациям хранить, управлять и предоставлять доступ к различным документам, включая стандарты, нормативные документы и техническую документацию (рис. 3).

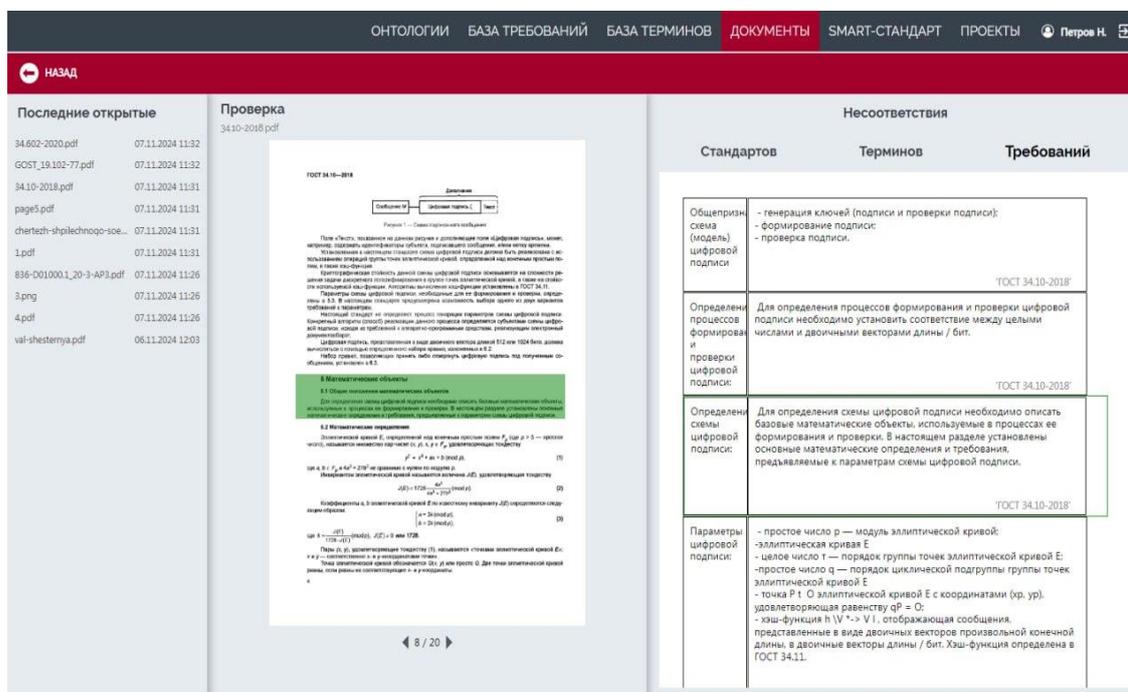


Рис. 3. Интеграция знаний в цифровом архиве документации

Разработанная система позволяет сократить время на поиск нужной документации, систематизировать архив, заменив бумажные носители на электронные, сократить время на изучение большого объема информации с помощью основных сущностей документа. Система может быть применена как инструмент поддержки принятия решений. Результаты работы могут использоваться в системах автоматизированного проектирования, PLM/PDM-системах, BIM-системах, а также для автоматизации экспертизы нормативно-правовой и нормативно-технической документации.

### Список литературы

1. Муромцев Д. И. [и др.]. Построение графов знаний нормативной документации на основе семантического моделирования и автоматического извлечения терминов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. Т. 21, № 2. С. 256–266.

2. Блинова О. В., Панкратова Е. В., Мальгина С. А. Методы извлечения метаданных и ключевой информации из научно-технических документов // ИТ. Наука. Креатив : материалы Междунар. форума «Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование». М. : Колос-С, 2024. Т. 5. С. 17–21.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617332 Российская Федерация / Арсеньев А. Г. Программа для обработки документов с использованием семантического анализа с помощью нейронных моделей ; заявитель и правообладатель ООО «НеМо» – № 2020616437 ; заявл 20.04.2020 ; опубл. 03.07.2020, Бюл. № 7.

4. Зулкарнеев Р. Х. [и др.]. Методы и модели извлечения знаний из медицинских документов // Информатика и автоматизация. 2022. Т. 21, № 6. С. 1169–1210.

5. Патент № 2821835 С1 Российская Федерация, МПК G06N 3/02, G06F 40/00. Способ текстогенерации на основе машинного обучения / Александрова М. В., Головнин О. К., Головнина А. А. [и др.] – № 2023118951 ; заявл. 18.07.2023 ; опубл. 26.06.2024.

## 7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

---

УДК 378.016:316.422 (574)

### ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Бахытжан Сражатдинович Ахметов<sup>1</sup>,  
Нуржамал Турашовна Ошанова<sup>2</sup>,  
Алия Бахытжановна Ахметова<sup>3</sup>**

*<sup>1,2</sup>Казахский национальный педагогический университет  
имени Абая, г. Алма-Ата, Казахстан*

*<sup>3</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга  
имени Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан*

<sup>2</sup>nurzhamal\_o\_t@mail.ru

**Аннотация.** Проводится исследование и анализ факторов, влияющих на качество высшего образования. Наряду с педагогическими, технологическими, техническими и социально-экономическими факторами, большую роль в этом процессе, как показывают последние исследования, начинает играть искусственный интеллект. Особенно активно искусственный интеллект используется в высшем образовании для улучшения качества обучения, исследования и управления. Кроме того, активное внедрение искусственного интеллекта в высшее образование становится все более популярным на глобальном уровне: от создания автоматизированных образовательных платформ до использования его в научных исследованиях – потенциал этой технологии только начинает раскрываться.

Основная цель исследования – объединить мировой и отечественный опыт в этой области с опорой на актуальные исследования и практические примеры, чтобы предложить интегративный взгляд на будущее высшего образования в эпоху цифровизации и интеллектуализации.

**Ключевые слова:** высшее образование, качество, факторы, мониторинг, цифровизация, искусственный интеллект

# ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A FACTOR OF IMPROVING THE QUALITY OF HIGHER EDUCATION

**Bakhytzhан S. Akhmetov<sup>1</sup>, Nurzhamal T. Oshanova<sup>2</sup>,  
Alia B. Akhmetova<sup>3</sup>**

*<sup>1,2</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

*<sup>3</sup>Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering,  
Aktau, Kazakhstan*

<sup>2</sup>nurzhamal\_o\_t@mail.ru

**Abstract.** This article examines and analyzes the factors affecting the quality of higher education. Along with pedagogical, technological, technical and socio-economic factors, artificial intelligence is beginning to play an important role in this process, as recent studies show. Artificial intelligence is especially actively used in higher education to improve the quality of teaching, research and management. In addition, the active introduction of artificial intelligence in higher education is becoming increasingly popular at the global level: from automated educational platforms to its use in scientific research – the potential of this technology is just beginning to unfold.

The main purpose of this article is to combine international and domestic experience in this field, based on current research and practical examples, in order to offer an integrative view of the future of higher education in the era of digitalization and intellectualization.

**Keywords:** higher education, quality, factors, monitoring, digitalization, artificial intelligence

Стоящие перед высшим образованием задачи цифровой трансформации требуют формирования новых моделей «цифровых» организаций с новыми подходами к реализации всех видов деятельности, базовых и вспомогательных процессов, новыми принципами взаимодействия участников образовательного процесса и новыми цифровыми сервисами. В этих условиях крайне важным и актуальным является проведение исследований возможностей цифровых технологий в образовании, разработки видения условий их эффективного использования, учитывая скорость технологических изменений в современном мире.

Исследования в области цифровизации образования проводятся в КазНПУ имени Абая на протяжении последних 5 лет.

Были проведены научно-исследовательские работы:

– «Разработка методологии обеспечения кибербезопасности информационной образовательной среды университета в условиях

глобализации образования», договор НИР 21/03, номер госрегистрации в НЦГНТЭ 0122РКИ0077 от 18.03.2022.

– «Целевые и рамочные модели цифровой трансформации вузов: базовые направления и ключевые проекты (на примере Казахского национального педагогического университета имени Абая)» совместно с национальным исследовательским университетом «Высшая школа экономики» (Россия, Москва) – приказ ректора КазНПУ имени Абая № 04-04/110 от 20.04.2021.

В рамках этих исследований авторами настоящей статьи была разработана Концепция цифровизации Казахского национального педагогического университета имени Абая [1], опубликованы статьи в изданиях Скопус и в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МНВО РК [2-5].

В текущем году был выигран конкурс по грантовому финансированию по научным и (или) научно-техническим проектам на 2023-2025 годы; номер проекта ИРН АР 19678846 – «Повышение эффективности гибридных и дистанционных форм организации учебного процесса на основе развития инфраструктуры вузов в условиях цифровой трансформации».

Настоящая статья является продолжением исследований в этом направлении. Планируется получение новых научных и практических результатов, которые отражены в настоящей статье.

Вопросам влияния цифровой аналитики на качество высшего образования посвящено достаточно большое количество зарубежных ученых [8-14]. Эти исследования предоставляют ценную информацию о потенциале и преимуществах использования цифровых технологий и аналитики в образовательном процессе. Они также указывают на вызовы, связанные с внедрением и использованием цифровой аналитики в образовании, такие как необходимость обеспечения конфиденциальности данных, обучение преподавателей и студентов использованию аналитических инструментов, адаптация инфраструктуры и процессов для сбора и анализа данных и т.д. Эти вызовы требуют дальнейших исследований и разработки ресурсов для успешной реализации цифровой аналитики в высшем образовании.

В работе [8] рассматривается использование искусственного интеллекта для оптимизации процессов принятия решений в образовательных учреждениях. Этот подход может быть вклю-

чен в рамки проекта для разработки прототипа информационной системы и применения искусственного интеллекта в поддержке принятия решений.

В [9] подробно исследуется влияние цифровой аналитики на качество образования и представлены полезные рекомендации. Результаты данного исследования могут быть использованы в проекте для разработки подходов и методик цифровой аналитики, а также для оценки эффективности проекта.

В работе [10] описывается опыт внедрения и использования информационной системы для аналитики данных в высшем образовании. Этот опыт может быть учтен в проекте при разработке прототипа информационной системы для поддержки принятия решений.

Существующие публикации отечественных исследователей касаются, в основном, цифровизации образования, в том числе общих вопросов повышения качества образования. Например, в работе [16] обсуждаются институциональные аспекты повышения качества образования, в работе [17] – вопросы трансформации высшего образования в условиях информатизации и цифровизации. Подавляющее большинство публикаций посвящено различным аспектам цифровизации образования, среди которых есть и публикации авторов настоящей статьи [18–22].

Что касается применения цифровой аналитики и методов искусственного интеллекта и их имплементации в информационные системы для поддержки принятия решений в высшем образовании для повышения его качества, то такие исследования в Казахстане отсутствуют.

В контексте настоящей статьи, обзор предшествующих исследований подтверждает актуальность и важность разработки прототипа информационной системы, основанной на цифровой аналитике и искусственном интеллекте, для поддержки принятия решений и повышения качества высшего образования. Наш подход стремится дальше развить и расширить существующие исследования, используя опыт зарубежных исследователей при разработке прототипа информационной системы для поддержки принятия решений.

Наша идея о разработке прототипа информационной системы для поддержки принятия решений в высшем образовании

с использованием цифровой аналитики и искусственного интеллекта имеет несколько принципиальных отличий от существующих аналогов и конкурирующих идей:

*Интегрированный подход.* Наш подход объединяет цифровую аналитику и искусственный интеллект в единую информационную систему, предназначенную для поддержки принятия решений в высшем образовании. Это отличает его от отдельных решений, фокусирующихся только на одной из этих областей. Интеграция цифровой аналитики и ИИ позволяет получить более полное представление о качестве образования и принимать более точные и обоснованные решения.

*Персонализированная поддержка студентов.* Наш подход ориентирован на предоставление персонализированной поддержки студентам на основе анализа их академической и поведенческой информации. Это позволяет предлагать индивидуальные рекомендации и подходы к обучению, учитывая потребности и особенности каждого студента. Это отличает наш подход от общих систем аналитики в образовании, которые могут быть менее персонализированными.

*Учет контекста Казахстана.* Мы планируем учитывать специфику высшего образования в Республике Казахстан, адаптируя методологии и подходы к местным потребностям. Это важно для обеспечения соответствия нашей цели стратегически важной государственной задаче и решения специфических проблем, с которыми сталкиваются высшие учебные заведения в Казахстане.

*Новейшие технологии.* Наш подход использует передовые технологии цифровой аналитики и искусственного интеллекта. Результаты исследований и разработка прототипа информационной системы будут базироваться на последних достижениях в области анализа данных, машинного обучения и принятия решений. Это обеспечивает новизну и инновационность проекта.

Таким образом, несмотря на существующие идеи и результаты, наш подход все же является перспективным по следующим причинам – предлагается уникальный комбинированный подход, учитывающий специфику Казахстана и применяющий новейшие технологии, что делает его выгодным для достижения стратегических целей и решения задач в образовании. Главной же причиной является то, что такие информационные системы для поддержки

принятия решений в высшем образовании с использованием цифровой аналитики и искусственного интеллекта, отсутствуют в Республике Казахстан.

### *Список литературы*

1. Балыкбаев Т. О., Бидайбеков Е. Ы., Ахметов Б. С., Гриншкун В. В. Концепция цифровизации Казахского национального педагогического университета имени Абая. Алматы : Ұлағатб, 2020. 122 с.

2. Ахметов Б. С., Карлов И. А., Жилкишбаев А. А. В международной повестке цифровой трансформации анализ концепции и процессов цифровизации КазНПУ имени Абая // Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Педагогика и психология. 2021. № 2 (47). С. 15–17. doi: 10.51889/2021-2.2077-6861.01

3. Ахметов Б. С., Карлов И. А., Жилкишбаев А. А., Серикбаев Т. К. Анализ международного опыта разработки и использования моделей цифровой трансформации организаций высшего образования // Вестник КазНПУ. Серия: Физико-математические науки. 2021. № 2 (74). С. 32–41. doi: 10.51889/2021-2.1728-7901.05

4. Бугубаева Р. О., Беспалева Р. С., Березюк В. И., Ержанов М. С. Трансформация высшего образования в условиях информатизации и цифровизации // Вестник университета «Туран». 2021. № (3). С. 272–277. doi: 10.46914/1562-2959-2021-1-3-272-277. URL: <https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1920?locale=ru>

5. Бордияну И. В., Сарсембаева Г. Ж., Мамбетказиев А. Е. Проблемы и перспективы развития цифровизации в сфере образования // Вестник университета «Туран». 2022. № (1). С. 268–275. doi: 10.46914/1562-2959-2022-1-1-268-275

6. Мутанов Г. М., Томилин А. К., Кукина Ю. Е. [и др.]. Управление качеством в высшем учебном заведении. Усть-Каменогорск : ВКГУ, 2011. 116 с. URL: <https://www.ektu.kz/media/132989/manquality.pdf>

7. Пак Ю. Н., Пак Д. Ю., Рахимов М. А. Институциональные аспекты обеспечения качества образования. Опыт высшей школы Казахстана // Аккредитация в образовании. 2018. № 5 (102). С. 32–34.

8. Минажева Г. С., Садырова М. С. Пути повышения конкурентоспособности высших учебных заведений Казахстана // Вестник КазНУ. Серия: Педагогические науки. 2019. № 2 (59). С. 68–83. doi: 10.26577/JES.2019.v59.i2.07

9. Сейсекенова М. Б. Пути совершенствования качества образования в современных условиях в Казахстане. doi: 10.53355/s9073-5517-5761-0

10. Есенбаева Г. А., Какенов К. С., Какенова У. К. Оценка факторов, влияющих на качество образования в ВУЗЕ // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 2-2. С. 241–244. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=9565>
11. Сулейменова Ш. К. Системы управления качеством высшего образования (на примере США, Великобритании, Норвегии и Финляндии) // Вестник университета «Туран». 2021. № (4). С. 216–223. doi: 10.46914/1562-2959-2021-1-4-216-223
12. Gibbs G. Reflections on the changing nature of educational development // International Journal for Academic Development. 2013. Vol. 18 (1). P. 4–14. doi:10.1080/1360144X.2013.751691.
13. Prince M. Does Active Learning Work? A Review of the Research // Journal of Engineering Education. 2004. № 93 (3). P. 223–231. doi: 10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x
14. Nicol D., Macfarlane-Dick D. Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice // Studies in Higher Education. 2006. № 31 (2). P. 199–218. URL: [https://www.reap.ac.uk/reap/public/papers/DN\\_SHE\\_Final.pdf](https://www.reap.ac.uk/reap/public/papers/DN_SHE_Final.pdf)
15. Moore M. G., Dickson-Deane C., Galyen K. E. Learning, Online Learning, and Distance Learning Environments: Are They the Same? // The Internet and Higher Education. 2011. № 14 (2). P. 129–135. doi: 10.1016/j.iheduc.2010.10.001
16. Clark R. C., Mayer R. E. E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning. John Wiley & Sons, 2011. doi: 10.1002/pfi.4930420510
17. McMahon W. W. Higher Learning, Greater Good: The Private and Social Benefits of Higher Education. Johns Hopkins University Press. URL: [https://www.researchgate.net/publication/44840404\\_Higher\\_Learning\\_Greater\\_Good\\_The\\_Private\\_Social\\_Benefits\\_of\\_Higher\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/44840404_Higher_Learning_Greater_Good_The_Private_Social_Benefits_of_Higher_Education)
18. Yang S., Huang Y. Teaching Application of Computer Multimedia Cloud Sharing Technology in Hand-painted Performance Course in Colleges and Universities // International Conference on Education Innovation and Social Science (ICEISS 2017). Atlantis Press, 2017. doi: 10.1016/j.iheduc.2010.10.00110.2991/iceiss-17.2017.51
19. Akhmetov B., Lakhno V., Gusev B. [et al.]. Adaptive Decision Support System for Scaling University Cloud Applications // Studies in Systems, Decision and Control. 2021. Vol. 337. P. 49–60. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57220211947>
20. Береке М. Б., Лахно В. А., Ахметов Б. С., Абуова А. К. Университеттің ақпараттық және цифрлық білім беру ортасында бұлтты қосымшаларды масштабтауға арналған шешімдерді қолдау

жүйесін әзірлеу // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2022. № 3 (58). С. 60–70. doi: 10.51775/2790-0886\_2022\_58\_3\_60

21. McMahon W. W. Higher Learning, Greater Good: The Private and Social Benefits of Higher Education. Baltimore : Johns Hopkins University Press, 2009. URL: [https://www.researchgate.net/publication/44840404\\_Higher\\_Learning\\_Greater\\_Good\\_The\\_Private\\_Social\\_Benefits\\_of\\_Higher\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/44840404_Higher_Learning_Greater_Good_The_Private_Social_Benefits_of_Higher_Education)

22. Johnstone D. B. The Economics and Politics of Cost Sharing in Higher Education: Comparative Perspectives // Educause Review. 2004. № 39 (4). P. 15–26. doi: 10.1016/j.econedurev.2003.09.004

УДК 004.9

## **РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ**

**Антон Владимирович Иващенко<sup>1</sup>,  
Михаил Александрович Терехин<sup>2</sup>,  
Иван Викторович Болвашенков<sup>3</sup>,  
Константин Константинович Машков<sup>4</sup>**

*<sup>1,2,3,4</sup>Самарский государственный медицинский университет  
Министерства здравоохранения Российской Федерации,  
г. Самара, Россия*

*<sup>2,3</sup>Пензенский государственный технологический университет,  
г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>pmish@samsmu.ru

**Аннотация.** Предложена технология классификации и упорядочивания проектов разной инновационности и неопределенности в рамках организации образовательной деятельности Передовой медицинской инженерной школы. На основе концепции цифровых двойников предложено классифицировать проекты по степени универсальности области применения. Результаты использования предложенной технологии позволили стимулировать изобретательскую деятельность в приложениях медицинской инженерии на стыке технических наук и здравоохранения.

**Ключевые слова:** проектная деятельность, образование, дизайн-мышление, цифровой двойник

# ENGINEERING CREATIVITY DEVELOPMENT FOR INNOVATIVE MEDICAL EQUIPMENT DESIGN

Anton V. Ivaschenko<sup>1</sup>, Michael A. Terekhin<sup>2</sup>,  
Ivan V. Bolvashenkov<sup>3</sup>, Konstantin K. Mashkov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>*Samara State Medical University, Samara, Russia*

<sup>2,3</sup>*Penza State Technological University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>pmish@samsmu.ru

**Abstract.** The paper presents a technology for classifying and organizing projects of varying innovativeness and uncertainty within the framework of organizing educational activities of the Higher School of Medical Engineering. Based on the concept of digital twins, it is proposed to classify projects by the degree of universality of the area of application. The results of applying the proposed technology made it possible to stimulate inventive activity in medical engineering applications at the intersection of technical sciences and health care.

**Keywords:** project activities, education, design thinking, digital twin

Освоение компетенций, необходимых современному инженеру является важной задачей системы высшего образования. Актуальность этой проблемы выросла в последнее время в связи с нехваткой квалифицированных кадров в высокотехнологичных отраслях, например, таких как здравоохранение. Активное внедрение медицинской техники, развитие персонализированной медицины, создание цифровых платформ для оказания телемедицинских услуг, применение искусственного интеллекта в различных задачах диагностики и поддержки принятия врачебных решений обусловило появление новых требований к специалистам в области медицинской инженерии.

Для решения этой задачи в Самарском государственном медицинском университете была открыта Передовая медицинская инженерная школа. Работа школы нацелена на создание экспортно-ориентированных продуктов на основе комбинированного владения инженерными и медицинскими компетенциями. В настоящее время открыта магистратура по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Биотехнологии». Это новый опыт подготовки высококвалифицированных инженеров в медицинском университете с широкой клинической базой и развитой инновационной инфраструктурой.

Специфика подготовки кадров в магистратуре по техническим специальностям потребовала пересмотра образовательных технологий. В частности, необходимо было обеспечить развитие творческих способностей обучающихся. Существующие технологии базируются на изучении технологий ТРИЗ и дизайн-мышления [1–3]. Они обеспечили достаточно хороший образовательный результат, но потребовали более глубокой проработки области применения.

Развитие инженерного мышления зависит от базовой подготовки, владения профессиональными компетенциями и умения находить и прорабатывать технические, физические и организационные противоречия. Обычно в качестве основной проблемы при этом фиксируют отличие новых постановок от имеющегося опыта решения подобных задач в теории и практике. С одной стороны, новое решение может требовать революционного подхода, с другой стороны оно должно быть технически реализуемо и не противоречить известным техническим результатам.

Таким образом, при решении задач технического творчества на стыке наук, например, в медицинской инженерии, от исследователя требуется хорошее владение теоретическим базисом двух специальностей. Несмотря на важную роль творческой составляющей, часто удается свести решение задач по разработке новых технических решений к некоторому алгоритму, стимулирующему изобретательскую активность.

В ходе реализации этой технологии удалось формализовать техническое творчество на базе модели многосвязного графа, описывающего в интегрированной информационной среде множество взаимосвязанных дизайн-решений, отражающих варианты реализации технического проекта в альтернативных исполнениях. Такая возможность обеспечена, прежде всего, известным теоретическим подходом по представлению изделий в виде цифровых двойников [4, 5], что позволяет прорабатывать технические решения на уровне моделей и сократить временные и материальные расходы, затраченные на прототипирование.

В качестве дополнительной сущности в модель было введено понятие «аффорданса» [6], описывающего пригодность достижения заданных целей в известных ситуациях и определяющего требования к техническому дизайну. Аффорданс задает связь между свойствами объекта и возможностями агента, которые опреде-

ляют, каким образом объект может быть использован. Введенная модель позволила формально описать и специфицировать проектную работу по критерию инновационности технических решений. Данный подход показал хорошую результативность в приложениях иммерсивной реальности [7].

Реализуемая магистратура по медицинской инженерии имеет прикладной характер. Это означает, что магистранты, начиная с первых месяцев обучения в университете, распределяются по проектным командам и обеспечиваются рабочими местами в рамках специальных образовательных пространств цифровой фабрики. Такое распределение обеспечивает раннее знакомство с тематикой и спецификой проектов в области медицинской инженерии и стимулирует творческую деятельность по разработке новых технических решений.

При этом удается найти баланс между целями образования и практики. Так, в качестве образовательных проектов обычно предлагаются известные задачи, для которых установлены способы эффективного решения. На примере этих проектов обучающийся осваивает базовые компетенции и получает возможность сравнить свое решение с известным, доказавшим эффективность на практике.

В то же время на практике от выпускника требуется работать в условиях неопределенности, решая новые задачи на фронтире развития технологий. Такие тематики также внедрены в учебный процесс и подготовлены совместно с индустриальными партнерами университета. При решении такого рода задач роль исполнителя меняется – он должен найти наилучшее техническое решение, доступное в текущих условиях развития научной теории и технологии реализации.

Комбинирование проектов производится обучающимся совместно с руководителем образовательной программы на базе метода «спирали практики». Суть метода приведена на рис. 1. В ходе построения индивидуальной образовательной траектории обучающийся начинает с реальных тематик высокой неопределенности, затем подыскивает зеркальные проекты известного результата и отработывает на них поиск и решения противоречий различного рода, после чего возвращается в сферу инновационных проектов фронтальной проблематики и высокой неопределенности и приходит, таким образом, к новым техническим решениям.



Рис. 1. Траектория проектной деятельности в рамках практической подготовки специалистов по медицинской инженерии

Применение модели спирали практики, позволяющей разрабатывать индивидуальные образовательные траектории по освоению компетенций на стыке медицинских и технических наук, показало хорошие результаты, в том числе, по стимулированию изобретательской активности. Это позволило в рамках образовательного процесса Передовой медицинской инженерной школы получить новые технические решения в рамках существующих продуктовых линеек университета.

### *Список литературы*

1. Альтшуллер Г. Найти идею: введение в ТРИЗ теорию решения изобретательских задач. М. : Альпина Паблишер, 2008. 409 с.
2. Собиров Б. Ш. Дизайн и бизнес в цифровом мире: организационные особенности формирования дизайн-мышления // Эргодизайн. 2022. № 1 (15). С. 14–23.
3. Богомолова И. С. Дизайн-мышление: от названия к сути метода // Архитектура и современные информационные технологии. 2023. № 4 (65). С. 92–102.

4. Боровков А. И., Кулемин В. Ю. Цифровой инжиниринг для создания изделий высокой степени технологической сложности на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 3 (133). С. 98–104.

5. Халиулин Р. А. Цифровые двойники как инструмент мониторинга производственных процессов в Индустрии 4.0 // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2023. Т. 25, № 2. С. 45–50.

6. Карелов С. В. «Ловушка Гудхарта» для AGI: проблема сравнительного анализа искусственного интеллекта и интеллекта человека // Ученые записки Института психологии Российской академии наук. 2023. Т. 3, № 3. С. 5–22.

7. Иващенко А. В., Александрова М. В., Жейков Д. С., Нестеров А. Ю. Семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах медицинских приложений // Онтология проектирования. 2024. Т. 14, № 3 (53). С. 311–323.

УДК 378.4

## **ПРОБЛЕМАТИКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ ПЕНЗЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Ксения Сергеевна Советкина<sup>1</sup>,  
Мария Геннадьевна Кузьмина<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup>Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

<sup>1</sup>ksovetkina@list.ru

<sup>2</sup>lu-mariya@mail.ru

**Аннотация.** В ситуации, когда в высших учебных заведениях активно развиваются формы дистанционного и самостоятельного обучения, поиск научной литературы становится основой обучения, что побуждает к созданию и развитию электронных библиотечных систем, в частности вузовских библиотек. В работе представлен сравнительный анализ электронной библиотеки Пензенского государственного университета с библиотекой eLIBRARY.RU и сформулированы недостатки системы, рассмотрение которых может помочь в улучшении электронной библиотеки образовательного учреждения.

**Ключевые слова:** информационная технология, информационная система, электронная библиотека, цифровая трансформация, образование

# THE PROBLEMS OF EDUCATIONAL INFORMATION SYSTEMS WITH THE EXAMPLE OF THE ELECTRONIC LIBRARY OF PENZA STATE UNIVERSITY

Ksenia S. Sovetkina<sup>1</sup>, Maria G. Kuzmina<sup>2</sup>

*<sup>1,2</sup>Penza State University, Penza, Russia*

<sup>1</sup>ksovetkina@list.ru

<sup>2</sup>lu-mariya@mail.ru

**Abstract.** In a situation where forms of distance and independent learning are actively developing in higher educational institutions, the search for the necessary information becomes the basis of learning, which encourages the creation and development of electronic library systems, in particular, university libraries. The paper presents a comparative analysis of the electronic library of Penza State University with the eLIBRARY.RU library. The disadvantages of the system are formulated, consideration of which can help in improving the electronic library of the institute.

**Keywords:** information technology, information system, electronic library, digital transformation, education

На современном этапе развития общества очевидной необходимостью являются системные преобразования и действия, направленные на развитие цифровизации в социально-экономических системах всех уровней. Объясняется это тем, что цифровизация стала обязательным фактором эффективной деятельности любой организации, и учебные учреждения не стали исключением. Изменения технологий и знаний в области образования приобретают все большую динамику: происходит внедрение и распространение многообразия информационных технологий (ИТ) на всех уровнях обучения, начиная с дошкольного и заканчивая высшим профессиональным. Помимо рассматриваемой сферы, достижения ИТ заняли высокое место в управлении, промышленности, проектировании, научных исследованиях, культуре и здравоохранении.

Информационная технология (ИТ) представляет собой совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, передачу и отображение информации для повышения эффективности и производительности труда благодаря снижению трудоемкости использования информационных ресурсов [1, с. 47]. Другими словами, это

методология использования вычислительной техники (программное и аппаратное обеспечение, сети и прочее).

Рассматриваемое понятие тесно связано с другим, не менее распространенным, – «информационная система» (ИС), под которым подразумевается программно-аппаратный комплекс средств для обработки входных данных с целью получения важной и полезной информации для организации. В ИС, в отличие от традиционного бумажного документооборота, более точно, глубоко и оперативно отражается состояние организации, объясняются условия взаимозаменяемости ресурсов и вырабатываются альтернативные варианты решений для принятия обоснованных управленческих решений [1, с. 48]. Таким образом, ИС является одним из основных средств реализации ИТ.

ИТ в учебном процессе ориентированы на конкретное применение: одни поддерживают учебный процесс, другие способствуют разработке новых учебных материалов и эффективной организации проведения исследовательских работ. Они предназначены для повышения качества образования, улучшения эффективности использования учебного времени, создания эффективной мотивации студентов к образовательному процессу. Стоит отметить, что современное образование ориентировано преимущественно на самостоятельное обучение, поэтому технологии способствуют развитию индивидуализации, самоконтроля, интеллектуальных и творческих способностей, дистанционности и вариативности процесса обучения, а также мобильности обучающихся. В связи с этим, образовательные учреждения используют широкий спектр ИТ: компьютерные программы и обучающие системы, «сквозные» иммерсивные технологии (VR и AR), инструменты для дистанционного интерактивного обучения (Zoom, Google Meet), электронные библиотеки, облачные и аддитивные технологии [2].

На сегодняшний день, одним из ключевых источников профессиональной информации являются информационно-сетевые технологии – различные сетевые ресурсы в виде информационных баз данных. Значительную часть интернет-массива занимают цифровые образовательные ресурсы в виде электронных библиотек (ЭБ), отдельным сегментом которых выступают вузовские библиотеки (ВБ). Они позволяют хранить электронные копии документов (учебных пособий, методических рекомендаций, сборников конференций), выпускных квалификационных работ, научных журналов [3].

Ответственность за формирование электронной информационно-образовательной среды возлагается в значительной степени на ВБ как основного держателя фонда документов, поэтому уровень электронной среды и рейтинг вуза определяется качеством ресурсной составляющей библиотеки [4]. На основании этого утверждения будет проанализировано состояние ЭБ Пензенского государственного университета (ПГУ) и проведен сравнительный анализ данной системы с системой eLIBRARY.RU.

Существуют определенные требования к ЭБ, которые изложены в стандарте РФ ГОСТ Р 57723–2017 «Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Системы электронно-библиотечные» [5]. С использованием данного документа сформулированы критерии оценки рассматриваемых ЭБ и проведена оценка, где: неудовлетворительно – не соответствует требованиям ГОСТ Р (1 балл), частично удовлетворительно – частично соответствует требованиям ГОСТ Р (2 балла), удовлетворительно – соответствуют требованиям ГОСТ Р (3 балла) (табл. 1).

Таблица 1

**Критерии оценки ЭБ ПГУ и ЭБ eLIBRARY.RU**

Критерии	Состояние ЭБ ПГУ	Состояние ЭБ eLIBRARY.RU.
Состояние фонда ЭБ	Частично удовлетворительно	Удовлетворительно
Использование ЭБ в учебном процессе	Удовлетворительно	Удовлетворительно
Отслеживание и управление фондом ЭБ	Частично удовлетворительно	Удовлетворительно
Интерфейс для использования различными категориями пользователей	Удовлетворительно	Удовлетворительно
Функциональность, обеспечивающая чтение, обучение и научную работу	Неудовлетворительно	Частично удовлетворительно
Навигация	Частично удовлетворительно	Удовлетворительно
Технологии формирования ЭБ (технологии депозитария, репозитария, резервного копирования)	Удовлетворительно	Удовлетворительно
Использование ЭБ	Удовлетворительно	Удовлетворительно

Каждому критерию присваивается соответствующий вес от 1 до 3, определяющий важность требования, где 1 – низкая значимость, 2 – средняя значимость, 3 – высокая значимость. На основании этого определяется состояние рассматриваемых ЭБ (табл. 2).

Таблица 2

**Расчет веса критериев состояния ЭБ**

Критерии	Вес критерия	Состояние ЭБ ПГУ	Состояние ЭБ eLIBRARY.RU.
Состояние фонда ЭБ	3	$3 \times 2 = 6$	$3 \times 3 = 9$
Использование ЭБ в учебном процессе	3	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 3 = 9$
Отслеживание и управление фондом ЭБ	1	$1 \times 2 = 2$	$1 \times 3 = 3$
Интерфейс для использования различными категориями пользователей	3	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 3 = 9$
Функциональность, обеспечивающая чтение, обучение и научную работу	2	$2 \times 1 = 2$	$2 \times 2 = 4$
Навигация	3	$3 \times 2 = 6$	$3 \times 3 = 9$
Технологии формирования ЭБ (технологии депозитария, репозитория, резервного копирования)	2	$2 \times 3 = 6$	$2 \times 3 = 6$
Использование ЭБ	1	$1 \times 3 = 3$	$1 \times 3 = 3$
Итого	–	43	52

Опираясь на проделанные расчеты, из максимальных 54 баллов ЭБ eLIBRARY.RU. набрала 52 балла, а ЭБ ПГУ – 43 балла, что составляет 96 % и 79 % удовлетворенности соответственно. Стоит отметить, что в анализе не учитывались критерии «Юридические аспекты функционирования ЭБ» и «Сохранность и безопасность ЭБ», поскольку у автора статьи недостаточно информации для оценки данных требований.

ЭБ ПГУ удовлетворяет многим критериям, которые указаны в ГОСТ Р, но ей также присущи некоторые недостатки, из-за чего она уступает другим ЭБ. Так, фонд библиотеки значительно ограничен, особенно по сравнению с eLIBRARY.RU, которая включает в себя множество научных статей и журналов, но, вместе с этим, в системе ПГУ хранятся ВКР и диссертации обучающихся, что отсутствует в вневузовских ЭБ. Помимо этого, личный кабинет пользователя довольно ограничен: нельзя отметить прочитанный материал, установить закладку в учебнике, оценить и оставить

отзыв или прокомментировать прочитанное. Также отсутствует оптимальный поиск по авторам и возможность цитирования источника по причине отсутствия ссылки на цитирование. Стоит также отметить, что значительная часть документов находится на стадии рассмотрения у модератора, из чего следует, что ЭБ ПГУ является исключительно хранилищем деятельности преподавателей и студентов института без возможности в полной мере использовать находящуюся в системе информацию.

Суммируя вышесказанное, приходим к выводу, что внедрение ИТ в образовательный процесс способствует становлению новой формы непрерывного образования, основу которой составляет самостоятельное и дистанционное обучение, невозможное без научной и учебной литературы. ЭБ должны быть интегрированы в учебный процесс вузов, поскольку без доступа к научной информации невозможно подготовить специалистов, отвечающих требованиям современного рынка. В результате сравнительного анализа ЭБ ПГУ было выяснено, что рассматриваемая ИС находится на ранней стадии разработки и требует дальнейшей модификации, чтобы соревноваться с другими ЭБ.

### *Список литературы*

1. Федотова Е. Л. Информационные технологии в профессиональной деятельности : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2024. 367 с.
2. Медведев П. Н., Малий Д. В., Папочкина Е. С. Современные информационные технологии в сфере образования: возможности и перспективы // МНИЖ. 2021. № 6-4 (108). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-informatsionnye-tehnologii-v-sfere-obrazovaniya-vozmozhnosti-i-perspektivy> (дата обращения: 30.09.2024).
3. Алферьева-Термсикос В. Б. Интеграция электронных библиотек в информационное образовательное пространство вуза // Эпоха науки. 2023. № 35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-elektronnyh-bibliotek-v-informatsionnoe-obrazovatelnoe-prostranstvo-vuza> (дата обращения: 30.09.2024).
4. Грибков Д. Н. Электронные библиотеки вузов в эпоху цифровой экономики // Культура: теория и практика. 2020. № 4 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektronnye-biblioteki-vuzov-v-epohu-tsifrovoy-ekonomiki> (дата обращения: 30.09.2024).
5. ГОСТ Р 57723–2017. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Системы электронно-библиотечные. Общие положения : национальный стандарт Российской Федерации / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М. : Стандартинформ, 2018. 16 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

<b>Бабич М. Ю., Бабич А. М.</b> НЕЛИНЕЙНОСТЬ, ИРРАЦИОНАЛЬНОСТЬ, ЭМОЦИОНАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В СЛОЖНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ .....	3
<b>Базилевский М. П., Шаманова А. Е., Малыгин А. А.</b> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ DOS-АТАКИ ПО СЕТЕВОМУ ТРАФИКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ РЕГРЕССИЙ.....	10
<b>Зеляпугин И. А., Сафронов М. А., Дорофеева О. С.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТОЯНИЙ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ: МИНИМИЗАЦИЯ И ЕЕ МЕТОДЫ .....	15
<b>Тарасов А. А.</b> ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ДРОЖАНИЯ ФАЗЫ СИГНАЛА.....	20
<b>Тихов С. В.</b> МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ТЕ-ВОЛНЫ НА СЛОЕ, ПОКРЫТОМ ГРАФЕНОМ .....	28
<b>Яремко О. Э.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ОПЕРАТОРОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....	34

### 2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

<b>Ding Aodi, Nedzvedz A. M.</b> GAIT ANALYSIS AND RECOGNITION BASED ON TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERISTICS.....	39
<b>Горюнов Ю. Ю., Леонова Т. Ю.</b> НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ .....	44

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

<b>Safronov M. I.</b> KOTLIN COROUTINES IN COMPARISON WITH JAVA 21 VIRTUAL THREADS.....	47
<b>Буевич Е. А., Яремко О. Э.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ МНОГОЗАДАЧНОСТИ.....	53
<b>Дорофеева О. С., Градсков А. В., Живов С. В.</b> ДЕКЛАРАТИВНЫЙ И ИМПЕРАТИВНЫЙ ПОДХОДЫ К НАПИСАНИЮ КОДА НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ JAVA.....	59

<b>Никулин Д. С.</b> АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НЕДОСТАТОЧНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ PYTHON СРЕДСТВАМИ ЯЗЫКА MOJO .....	64
<b>Тихонов А. А., Федюнин Р. Н.</b> СПОСОБ ОБРАБОТКИ ИНТЕРНЕТ-ТРАФИКА НА БАЗЕ СПЕЦИФИКАЦИЙ ИНТЕРФЕЙСА СЕТЕВОГО ДРАЙВЕРА.....	70

#### 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Бузенков И. И., Редькин Ю. В., Пакшина Е. Р.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ WI-FI ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ .....	76
<b>Коваленко Т. А., Марина М. А.</b> АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ.....	82
<b>Редькин Ю. В., Тюфанова А. А.</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ СБОРА ДАННЫХ С УСТРОЙСТВ BLUETOOTH LOW ENERGY В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ОТ WLAN .....	87

#### 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

<b>Borojević S., Petrović N., Đorđević F.</b> METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH IN TELEPSYCHOLOGY .....	93
<b>Đorđević F., Borojević S., Petrović N.</b> CONCEPTUAL DESIGN SOLUTION FOR AN APPLICATION FOR TESTING SELECTIVE ATTENTION .....	98
<b>Prince Jain, Divyanshu Dubey, Atharv Gehlot, Anand Joshi</b> CALORIE BURN PREDICTION DURING WORKOUTS USING MACHINE LEARNING: A COMPARATIVE STUDY OF ENSEMBLE MODELS .....	105
<b>Rajasvaran Logeswaran</b> ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS IN MODERN HEALTHCARE .....	111
<b>Адамова А. В.</b> СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ MATLAB .....	116
<b>Астанин П. А.</b> КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ГЛОССАРИЯ НА ОСНОВЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ .....	122

<b>Гасанова В. А.</b> АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	127
<b>Герасимова-Мейгал Л. И., Мейгал А. Ю., Димитров В. М., Герасимова М. А., Склярова А. С., Смирнов Н. В.</b> ОЦЕНКА УРОВНЯ СТРЕССА С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ «УМНОЙ» ОДЕЖДЫ И ПАРАМЕТРОВ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ РИТМА СЕРДЦА.....	132
<b>Грибков Д. Н.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ АРТЕРИАЛЬНЫХ БИФУРКАЦИЙ ВНУТРИОРГАННОГО РУСЛА ПОЧКИ ЧЕЛОВЕКА. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ .....	137
<b>Курышева Н. Д.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ АМПЛИТУДНО- ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАММЫ НА ОСНОВЕ КОДИРУЮЩИХ ТОЧЕК ОБЪЕМНОГО ПУЛЬСА.....	147
<b>Лапич А. О., Медведик М. Ю.</b> ЗАДАЧА ДИАГНОСТИКИ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДАМИ СВЧ-ТОМОГРАФИИ.....	150
<b>Поляков Е. В., Дмитриева В. В., Шувалова Е. В., Дюмин А. А.</b> ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В ОНКОГЕМАТОЛОГИИ.....	155
<b>Серебровский А. В., Корсунский Н. А., Лях А. В., Кныш О. А.</b> МОДЕЛЬ БИОИМПЕДАНСА ДЛЯ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ИМПЕДАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ .....	159
<b>Смирнов Ю. Г., Мартынова В. Ю.</b> ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИ ГАВРИЛЬЯКА – НЕГАМИ .....	166
<b>Сухомлинов А. Ю.</b> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ АНГИОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	170
<b>Хрящев В. В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПАТОЛОГИЙ НА ВИДЕОДАНЫХ ГАСТРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЖЕЛУДКА.....	175

## 6. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

<b>Бесчастнова В. В., Кузьмина М. Г.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАКАЗАМИ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ .....	180
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<b>Гурьянов Е. Д.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МЕТРИКИ В МНОГОСКАЧКОВЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ.....	184
<b>Ефанов С. В., Иванова Е. Н.</b> ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	189
<b>Казаков И. А., Рындина С. В.</b> ПОВЫШЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ .....	193
<b>Кирнос В. П.</b> ГЕТЕРОГЕННОЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ЗАДАЧАХ SLAM И ОТСЛЕЖИВАНИЯ ЦЕЛЕЙ .....	197
<b>Китаев А. А.</b> РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ЭЛЕКТРОННОГО БРОНИРОВАНИЯ КНИЖНЫХ ИЗДАНИЙ .....	202
<b>Некоркин А. М., Приоров А. Л.</b> МНОГОСПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА CUBESAT: ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕМТОСПУТНИКОВ .....	207
<b>Носков С. И., Медведев А. П.</b> РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЦИАЛЬНОГО И ПЕНСИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.....	212
<b>Полепкин Е. А., Идиатуллин А. В., Белов П. С.</b> МАРШРУТИЗАЦИЯ ДАННЫХ В АВТОМОБИЛЬНЫХ СЕТЯХ.....	216
<b>Савин С. А., Усков Н. А., Соколова Д. Д.</b> СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ.....	221
<b>Сенников А. В., Ларионов Р. В., Хрящев В. В., Приоров А. Л.</b> ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПЕКЛ-ШУМА НА РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ РАДИОДИАПАЗОНА .....	225
<b>Суркин М. Ю., Сафонов П. П., Усманова И. В., Круть Ю. Р.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ БОЕПРИПАСОВ НА ПОЛЕВОМ АРТИЛЛЕРИЙСКОМ СКЛАДЕ .....	229
<b>Тарасова Е. О., Гарькина Д. А., Рындина С. В.</b> ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В HR-ПРОЦЕССЫ .....	234
<b>Топников А. И., Смирнова Т. А.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДОБУЧЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ШУМОВ СЕРДЦА НА ФОНОКАРДИОГРАММАХ .....	239

<b>Нгок Хунг Фам, Максимов А. И.</b> ВСТРАИВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В НЕЗНАЧИМЫЕ ОБЛАСТИ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ.....	245
<b>Усманова И. В., Суркин М. Ю., Фирстанов И. П.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ.....	251
<b>Ушакова А. М., Красавин К. С., Приоров А. Л., Набилков В. Д.</b> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	256
<b>Тюлюнова Е. А., Тетер А. В., Головнин О. К.</b> УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГАЗИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ.....	261
<b>Цыбулов А. М.</b> ХРАНЕНИЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ АВТОРОВ СТАТЕЙ ...	266
<b>Шестакова М. В., Головнина А. А., Головнин О. К.</b> ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ГРАФИЧЕСКИХ И ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ СРЕДСТВАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.	273

## **7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ**

<b>Ахметов Б. С., Ошанова Н. Т., Ахметова А. Б.</b> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	279
<b>Иващенко А. В., Терехин М. А., Болвашенков И. В., Машков К. К.</b> РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИННОВАЦИОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ.....	286
<b>Советкина К. С., Кузьмина М. Г.</b> ПРОБЛЕМАТИКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ ПЕНЗЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА .....	291

*Научное издание*

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ  
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,  
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ

г. Пенза, 22–23 ноября 2024 г.

Под редакцией  
**Кузьмина** Андрея Викторовича,  
**Дрождина** Владимира Викторовича

---

---

PROBLEMS OF INFORMATICS IN EDUCATION,  
MANAGEMENT, ECONOMICS AND TECHNICS

Penza, 22–23 November, 2024

Edited by  
Andrey V. **Kuzmin**, Vladimir V. **Drozhdin**

Все материалы представлены в авторской редакции

Корректор *А. А. Есавкина*  
Технический редактор *Р. Б. Бердникова*  
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*  
Дизайн обложки *И. В. Шваревой*

Подписано в печать 29.11.2024.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. л. 17,55.  
Тираж 30. Заказ № 704.

---

Издательство ПГУ.  
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.  
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru