

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)
Всероссийская группа теории информации IEEE
СИБИРСКАЯ СЕКЦИЯ IEEE RUSSIA
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 XXV Международной
научно-технической конференции, посвященной 100-летию
ректора Пензенского политехнического института
Николая Петровича Сергеева
и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне*

г. Пенза, 31 октября – 1 ноября 2025 г.

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

PROBLEMS OF COMPUTER SCIENCE IN EDUCATION, MANAGEMENT, ECONOMY AND TECHNOLOGY

*Collection of articles of 25th International Scientific and Technical conference
dedicated to the 100th anniversary of Nikolai Petrovich Sergeev, Rector of Penza
Polytechnic Institute, and the 80th anniversary of Victory
in the Great Patriotic War*

Penza, 31 October – 1 November, 2025

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

Пенза
Издательство ПГУ
2025

УДК 004
П78

Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию ректора Пензенского политехнического института Николая Петровича Сергеева и 80-летию Победы в Великой Отечественной войне (г. Пенза, 31 октября – 1 ноября 2025 г.) / под ред. А. В. Кузьмина, В. В. Дрождина. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2025. – 346 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 XXV Международной научно-технической конференции «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике»
№ 1038/о от 10.09.2025

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

ISSN 2311-0406

© Пензенский государственный университет, 2025

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ РЕКТОРА ПЕНЗЕНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НИКОЛАЯ ПЕТРОВИЧА СЕРГЕЕВА

В этом году исполнилось 100 лет со дня рождения Н. П. Сергеева – талантливого ученого и руководителя, бывшего ректора нашего университета (тогда – Пензенского политехнического института). Николай Петрович родился в селе Тагайка Телегинского района Средневолжского края (теперь – Пензенской области) в семье крестьянина. После окончания школы поступил в Пензенский индустриальный институт – так тогда назывался наш университет. Учился отлично, был сталинским стипендиатом. В 1952 г. его приняли в аспирантуру. В 1960 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию в Московском высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана и в том же году стал заместителем директора Пензенского политехнического института по учебной и научной работе, впоследствии – проректором по научной работе, а потом и ректором.

В конце 60-х – начале 70-х гг. XX в. в нашей стране началось широкое внедрение вычислительной техники и средств автоматизации во все области хозяйственной деятельности. Николай Петрович уловил эту тенденцию, и в 1971 г. в Политехническом институте была открыта кафедра «Автоматизация и механизация процессов обработки и выдачи информации» (ныне – кафедра «Информационно-вычислительные системы»). На ней была организована подготовка инженеров по специальности с таким же названием. Заведующим кафедрой стал Николай Петрович. Через некоторое время на кафедре была открыта еще одна современная специальность – «Автоматизированные системы управления». Николай Петрович, несмотря на большую административную загруженность, освоил новые лекционные курсы «Информационные машины и их элементы», «Автоматизированные информационные системы», продолжал вести занятия и по традиционным дисциплинам «Аналоговые вычислительные машины» и «Основы вычислительной техники». Им подготовлены и изданы в центральных издательствах монография «Автоматизация процессов решения краевых задач», учебное пособие «Электромагнитная техника», учебник «Электронно-вычислительные машины» (в соавторстве), учебное пособие «Основы вычислительной техники»

(в соавторстве с Н. П. Вашкевичем). Н. П. Сергеев был талантливым ученым и организатором науки. Он пользовался авторитетом среди ученых и производственников. Ему удалось установить сотрудничество с рядом предприятий.

Николая Петровича отличало особенное чутье на перспективные научные направления. В частности, он активно участвовал в совместных работах с Пензенским научно-исследовательским институтом математических машин (ныне – НПП «Рубин») – одним из ведущих коллективов в стране по созданию новой вычислительной техники. Под руководством Николая Петровича сотрудниками кафедры было разработано программное обеспечение для аналого-цифрового вычислительного комплекса «Сатурн-2», который многие годы успешно эксплуатировался во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии (ныне – научно-производственная компания «ВСЕГИНГЕО»).

У кафедры завязалось тесное научное сотрудничество с Центральным научно-исследовательским институтом морского флота имени академика А. Н. Крылова (ныне – Крыловский государственный научный центр) – ведущим научным центром страны, занимающимся фундаментальными исследованиями, связанными с кораблестроением. Под руководством и при участии Н. П. Сергеева сотрудниками кафедры были разработаны основные элементы и программное обеспечение аналого-цифрового вычислительного комплекса моделирования физических полей объектов морской техники в рамках программы повышения скрытности и защищенности кораблей и подводных лодок.

Н. П. Сергеев инициировал проведение на кафедре научно-исследовательской работы по тематике отображения информации. Были выполнены работы с такими организациями, как НПО «Взлет» (г. Москва), Центр подготовки космонавтов (пгт Звездный городок), ПО «Муроммашзавод» (г. Муром).

Спектр научных результатов Николая Петровича был столь широк, что он принял решение защищать докторскую диссертацию по совокупности своих трудов. Он являлся автором более 150 научных работ, его учебное пособие «Основы вычислительной техники» (в соавторстве с Н. П. Вашкевичем) было выпущено издательством «Мир» на английском языке. Несомненно, Николай

Петрович выполнил бы свое намерение, и только безвременная смерть помешала ему.

Николай Петрович работал не за награды, но награжден был неоднократно. В его послужном списке два ордена «Знак Почета», медаль «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», медаль «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», серебряная медаль ВДНХ СССР, почетный знак «За отличные успехи в области высшего образования СССР».

Николай Петрович погиб в автомобильной катастрофе 2 октября 1982 г., не дожив до 60 лет. Безмерно жаль, что нелепая случайность оборвала его яркую жизнь. С тех пор прошло уже более 40 лет, но сотрудники кафедры и сегодня вспоминают Николая Петровича с уважением и благодарностью как основателя кафедры, талантливого ученого, умелого руководителя и педагога.

Члены оргкомитета конференции д.т.н., профессор Ю. Н. Косников, д.т.н., профессор В. И. Горбаченко по собственным воспоминаниям и воспоминаниям коллег, а также по материалам, опубликованным на сайте Пензенского государственного университета (URL: www.pnzgu.ru)

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – 80 ЛЕТ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

Пензенский государственный университет (ПГУ) как вуз появился в г. Пензе в середине 1943 г. 3 июля 1943 г. было принято решение о переводе в Пензу Одесского индустриального института, который впоследствии был переименован в Пензенский индустриальный институт (1944), а затем в Пензенский политехнический институт (1958), в Пензенский государственный технический университет (1993) и в Пензенский государственный университет (1998).

В состав Индустриального института входило 3 факультета: механико-технологический, точной механики и теплотехнический, на которых обучение осуществлялось по 3 специальностям: «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки» и «Литейное производство». Занятия в только что созданном вузе начались с 1 ноября 1943 г. Число студентов составляло 600 человек, из которых 525 были первокурсниками. При этом преподавательский состав в начале учебного года насчитывал 21 человека, а в конце учебного года – 44.

В течение военного времени из Индустриального института на фронт ушли более пятисот преподавателей, сотрудников и студентов, а оставшиеся в вузе, кроме участия в учебном процессе, регулярно помогали на предприятиях, в медицинских учреждениях и на заготовке продовольствия для оказания максимальной помощи фронту. Первый выпуск в Индустриальном институте состоялся уже в послевоенное время (1947) и составил 40 специалистов.

В 2012 г. к ПГУ был присоединен Пензенский государственный педагогический университет имени В. Г. Белинского в качестве структурного подразделения «Педагогический институт имени В. Г. Белинского». Педагогический институт как вуз был создан в Пензе в 1939 г. Становление обоих вузов пришлось на суровые военные годы.

В первые дни Великой Отечественной войны добровольцами на фронт ушли 24 студента и преподавателя. В сентябре все студенты Педагогического института были направлены на уборку урожая, а в ноябре-декабре – на строительство оборонительных укреплений вокруг Пензы. Из 420 студентов к занятиям смогли

приступить только 150 человек. Многие были призваны в армию, другие стали работать в госпиталях, на промышленных предприятиях, в колхозах и совхозах. Занятия в 1941 г. начались только с 20 декабря и проходили в очень тяжелых условиях. Первый выпуск Педагогического института состоялся в 1945 г. При этом из 120 первокурсников 1941 г. только 34 успешно завершили обучение.

Во время Великой Отечественной войны преподаватели, сотрудники и студенты пензенских институтов принимали активное участие в работе промышленных предприятий, медицинских учреждений и в сельскохозяйственных работах для оказания помощи фронту, вносили свой вклад в Великую Победу. При этом учебный процесс в вузах не прекращался даже в самых сложных условиях, вопреки всем тяготам. В любое время – и в далекие военные годы, и сейчас – нужны образованные люди, ведь именно они помогают двигать вперед технический прогресс и делать страну по-настоящему Великой.

*Ответственный секретарь конференции к.т.н,
доцент В. В. Дрождин по материалам, опубликованным на сайте
Пензенского государственного университета (URL: www.pnzgu.ru)*

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

УДК 517.957

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ДВУХ ТЕ-ВОЛН В ПЛОСКОМ СЛОЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДОЙ

Анна Александровна Дюньдяева¹,
Артём Александрович Пичаев²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹andyundyaeva@gmail.com

²artem.pichenkov100bt@mail.ru

Аннотация. Рассматривается нелинейная двухпараметрическая задача на собственные значения, описывающая распространение двух ТЕ-волн в плоском слое, заполненном нелинейной неоднородной средой. Представлена теорема, устанавливающая существование конечного числа решений задачи. При использовании метода пристрелки, адаптированного для случая исследуемой нелинейной двухпараметрической задачи, найдены приближенные постоянные распространения и отвечающие им собственные моды плоского волновода заданной конфигурации.

Ключевые слова: электромагнитные волны, задача на собственные значения, нелинейность Керра, ТЕ-волны, неоднородная среда, уравнения Максвелла

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-71-10036, URL: <https://rscf.ru/project/25-71-10036/>).

ON THE PROPAGATION OF TWO TE WAVES IN A FLAT LAYER FILLED WITH INHOMOGENEOUS NON-LINEAR MEDIA

Anna A. Dyundyaeva¹, Artyom A. Pichaev²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹andyundyaeva@gmail.com

²artem.pichenkov100bt@mail.ru

Abstract. A nonlinear two-parameter eigenvalue problem is considered describing the propagation of two TE waves in a flat layer filled with a non-linear

inhomogeneous media. The theorem establishing the existence of a finite number of solutions to the problem. Using the shooting method adapted for the case of the non-linear two-parameter problem under study, approximate propagation constants and corresponding eigenmodes of a flat waveguide of a given configuration were found.

Keywords: electromagnetic waves, eigenvalue problem, Kerr non-linearity, TE waves, inhomogeneous slab, Maxwell's equation

Funding: the work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project № 25-71-10036, URL: <https://rscf.ru/project/25-71-10036/>).

Теория распространения электромагнитных волн в нелинейных волноводах активно развивается на протяжении уже более сорока лет. За это время в этой области было получено немало интересных и важных результатов [1]. Однако, некоторые важные задачи по-прежнему остаются нерешёнными.

В данной работе рассматривается распространение электромагнитной волны, представляющей собой сумму двух ТЕ волн, связанных некоторым условием, о котором будет сказано подробнее позднее. Такая волна представима как

$$\mathbf{E} = \text{Re} \left\{ (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) e^{-i\omega t} \right\}, \quad \mathbf{H} = \text{Re} \left\{ (\mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2) e^{-i\omega t} \right\}, \quad (1)$$

где $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$ есть комплексные амплитуды вида

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1 &= (0, E_y(x), 0) \exp(i\gamma z), & \mathbf{E}_2 &= (0, 0, E_z(x)) \exp(i\gamma y), \\ \mathbf{H}_1 &= (H_{x1}(x), 0, H_z(x)) \exp(i\gamma z), & \mathbf{H}_2 &= (H_{x2}(x), H_y(x), 0) \exp(i\gamma y), \end{aligned}$$

а $\gamma \in \mathbb{R}$ – волновое число (одинаковое для пары ТЕ волн). Поле (1) распространяется в диэлектрическом волноводе $\Omega := \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq h, (y, z) \in \mathbb{R}^2\}$ с идеально проводящими стенками на обеих границах.

Диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей волновод Ω , описывается следующим диагональным тензором

$$\epsilon = \begin{pmatrix} * & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_1 + \beta_1 E_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_2(x) + \beta_2 E_z^2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1 > 1$, $\beta_1, \beta_2 > 0$ – некоторые числа, $\varepsilon_2(x)$ – положительная монотонно неубывающая функция; элемент тензора, обозначенный символом $*$, может быть выбран произвольно, поскольку не оказывает влияния на распространение волны (1). Формулу (2) называют тензорной нелинейностью Керра [1].

Векторы $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2, \mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2$ удовлетворяют уравнениям Максвелла

$$\operatorname{rot}(\mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2) = -i\omega\varepsilon_0 \mathbf{E}(\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2), \operatorname{rot}(\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) = i\omega\mu_0(\mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2),$$

где ε_0, μ_0 – диэлектрическая и магнитная постоянные, а их компоненты удовлетворяют следующим граничным условиям

$$\begin{aligned} E_y|_{x=0} &= 0, & E_z|_{x=0} &= 0, \\ E'_y|_{x=0} &= A_1, & E'_z|_{x=0} &= A_2, \\ E_y|_{x=h} &= 0, & E_z|_{x=h} &= 0, \end{aligned}$$

где A_1, A_2 – некоторые положительные числа, подчиняющиеся соотношению

$$|\mathbf{H}|^2|_{x=0} = \frac{(E'_y)^2 + (E'_z)^2}{\omega^2 \mu_0^2} \Big|_{x=0} = \frac{A_1^2 + A_2^2}{\omega^2 \mu_0^2} = -\frac{A^2}{\omega^2 \mu_0^2}.$$

Задача состоит в нахождении значений γ и пары чисел A_1, A_2 , отвечающих волнам (1), которые удовлетворяют всем перечисленным выше условиям. Такие γ являются *постоянными расширениями* волновода Ω .

Выполняя ряд несложных выкладок и вводя обозначения, которые будут представлены ниже, задачу о распространении волн (1) можно свести к задаче \mathcal{P} , заключающейся в нахождении таких троек $(\lambda, A_1, A_2) = (\bar{\lambda}, \bar{A}_1, \bar{A}_2)$, для которых существуют решения $u_j \equiv u_j(x; \bar{\lambda}, \alpha_j, A_j)$ системы уравнений

$$\begin{aligned} u_1''(x) &= -\left(a_1 - \lambda + \alpha_1 u_1^2(x)\right)u_1(x), \\ u_2''(x) &= -\left(a_2(x) - \lambda + \alpha_2 u_2^2(x)\right)u_2(x), \end{aligned}$$

удовлетворяющие граничным условиям

$$\begin{aligned} u_1|_{x=0} &= 0, & u_2|_{x=0} &= 0, \\ u_1'|_{x=0} &= A_1, & u_2'|_{x=0} &= A_2, \\ u_1|_{x=h} &= 0, & u_2|_{x=h} &= 0, \end{aligned}$$

где числа A_1, A_2 удовлетворяют соотношению

$$A_1^2 + A_2^2 = A^2. \quad (3)$$

Здесь использованы следующие обозначения: $\lambda = \gamma^2$, $a_1 = k_0^2 \varepsilon_1$, $a_2(x) = k_0^2 \varepsilon_2(x)$, $\alpha_j = k_0^2 \beta_j$, $k_0^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0$.

Заметим, что если опустить условие (3), то задача \mathcal{P} распадается на две независимые задачи о распространении двух ТЕ-волн. Назовем их задачами \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 . Эти задачи можно исследовать по отдельности при помощи метода интегральных характеристических уравнений [2], после чего, объединяя результаты, получаем следующий результат [3].

Теорема 1. *Для любого целого числа $n > 0$ существует не менее n троек $(\bar{\lambda}, \bar{A}_1, \bar{A}_2)$, являющихся решениями задачи \mathcal{P} .*

Для нахождения приближенных решений задачи \mathcal{P} используется следующий метод. Строится сетка по параметрам λ и A_1 . Используя метод пристрелки находим пары чисел (λ, A_1) являющиеся решениями задачи \mathcal{P}_1 . Затем используя тот же метод находим решения (λ, A_2) задачи \mathcal{P}_2 , причем $A_2 = \sqrt{A^2 - A_1^2}$. После этого остается лишь найти те пары чисел (λ, A_1) , которые являются одновременно решениями обеих задач. Они и являются решениями задачи \mathcal{P} .

Далее представлены результаты численного моделирования распространения волн вида (1) в плоском волноводе со следующими параметрами: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0.1$, $a_1 = 2$, $a_2(x) = 2 + 0.01x$, толщина слоя $h = 6$ и постоянная $A = 4$.

На рис. 1 синие кривые являются решениями задачи \mathcal{P}_1 , а красные кривые – решениями задачи \mathcal{P}_2 . Пересечения этих кривых, отмеченные зелеными точками, являются решениями задачи \mathcal{P} . На рис. 2 представлены собственные функции, отвечающие паре чисел $(\bar{\lambda}, \bar{A}_1)$.

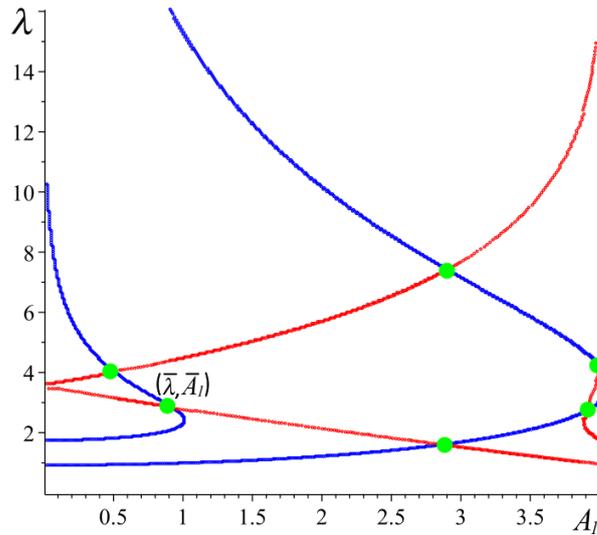


Рис. 1. Приближенные решения задачи \mathcal{P}

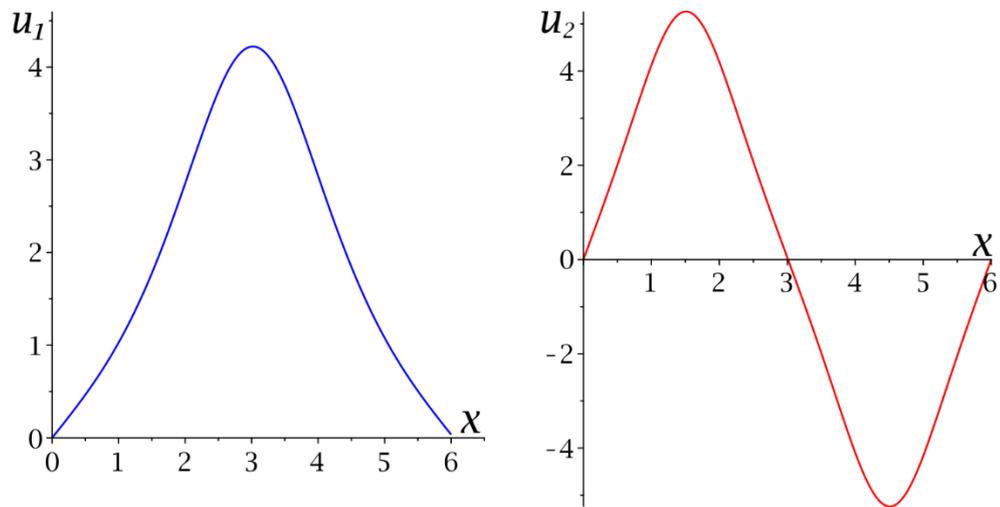


Рис. 2. Собственные функции для $\bar{\lambda} \approx 2.845$ при $\bar{A}_1 \approx 0.898$

Рассмотрена задача о распространении двух электромагнитных монохроматических ТЕ волн, связанных условием на границе, в плоском слое, заполненном нелинейной неоднородной средой. Полученные результаты представляют, как самостоятельный интерес, так и могут быть использованы в дальнейшем при построении метода возмущения для исследования более сложных задач [4].

Список литературы

1. Boardman A. D., Egan P., Lederer F. [et al.]. Order Nonlinear Electromagnetic TE and TM Guided Waves / ed by Н.-Е. Ponath and

G. I. Stegeman : reprinted from *Nonlinear Surface Electromagnetic Phenomena*. North-Holland ; Amsterdam ; London ; New York ; Tokyo, 1991.

2. Kurseeva V. Yu., Moskaleva M. A., Valovik D. V. Asymptotical analysis of a nonlinear sturm–liouville problem: linearisable and non-linearisable solutions // *Asymptotic Analysis*. 2020. № 119 (1-2). P. 39–59.

3. Валовик Д., Мартынова В. Об одной неклассической задаче на собственные значения, имеющей нелинеаризуемые решения // *Дифференциальные уравнения*. 2023. Т. 59, № 3. С. 303–313.

4. Martynova V., Valovik D. Nonclassical perturbation approach to a nonlinear multiparameter eigenvalue problem arising in electromagnetics // *Math. Meth. Appl. Sci*. 2023. № 46. P. 13205–13225.

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ВОЛНОВОДЕ, ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Михаил Юрьевич Медведик¹,
Екатерина Владимировна Гусева²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹_medv@mail.ru

Аннотация. Разработан метод восстановления структуры трехмерных объектов с использованием значений электромагнитного поля в точках наблюдения. Точки наблюдения располагаются за пределами тела, источник излучения точечный.

Ключевые слова: численный метод, интегральные уравнения, уравнение Максвелла

Финансирование: работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (рег. № 124020200015-7).

A METHOD FOR RECONSTRUCTING THE STRUCTURE OF A THREE-DIMENSIONAL OBJECT LOCATED IN A WAVEGUIDE BY MEASURING THE ELECTROMAGNETIC FIELD

Michael Y. Medvedik¹, Catherine V. Guseva²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹_medv@mail.ru

Abstract. A method has been developed for reconstructing the structure of three-dimensional objects using the values of the electromagnetic field at observation points. The observation points are located outside the body, and the radiation source is point-based.

Keywords: numerical method, integral equations, Maxwell's equation

Funding: the work was carried out with the support of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (reg. № 124020200015-7).

Актуальной задачей нанотехнологии является определение диэлектрических параметров нанокompозитных материалов. Данные материалы трудно измерить экспериментально. В работе предлагаются метод математического моделирования для решения прямых и обратных задач электродинамики для объектов, расположенных в волноводах. Основное внимание уделено применению интегральных уравнений и различных алгоритмов, позволяющих эффективно восстанавливать параметры материалов.

1. Постановка прямой задачи

Пусть объемное тело Q расположено в прямоугольном волноводе, $P = \{x: 0 < x_1 < a, 0 < x_2 < b, -\infty < x_3 < +\infty\}$ поверхность волновода P обладает свойствами идеального проводника. Магнитная проницаемость данного тела является постоянной величиной, равной μ_0 , в то время как его диэлектрические свойства описываются тензором проницаемости с положительными компонентами, значения которых ограничены и не превосходят некоторых предельных величин.

Анализируемая область обладает кусочно-гладкой границей. Физическое тело размещено внутри волновода без контакта с его проводящими поверхностями.

Возбуждение электромагнитного поля в волноводе осуществляется сторонним источником – электрическим током вида $e^{-i\omega t}$; требуется определить структуру этого поля.

Электромагнитное поле описывается системой уравнений Максвелла (1.1). Кроме того, оно подчиняется условиям излучения (1.2) на бесконечности, которые обеспечивают затухание высших типов волн.

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= -i\omega \hat{\epsilon} \vec{E} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= i\omega \mu_0 \vec{H} \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{H} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \vec{E}^0 \\ \vec{H}^0 \end{pmatrix} + \sum_p R_p^{(\pm)} \exp(i\gamma_p^{(1)} |x_3|) \cdot \begin{pmatrix} \lambda_p^{(1)} \prod_p \vec{e}_3 - i\gamma_p^{(1)} \nabla_2 \prod_p \\ -i\omega \epsilon_0 (\nabla_2 \prod_p) \cdot \vec{e}_3 \end{pmatrix} + \\ &+ \sum_p Q_p^{(\pm)} \exp(i\gamma_p^{(2)} |x_3|) \cdot \begin{pmatrix} i\omega \mu_0 (\nabla_2 \Psi_p) \cdot \vec{e}_3 \\ \lambda_p^{(2)} \Psi_p \vec{e}_3 - i\gamma_p^{(2)} \nabla_2 \Psi_p \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

Коэффициенты разложений удовлетворяют оценкам

$$R_p^{(\pm)}, Q_p^{(\pm)} = O(p^m), p \rightarrow \infty, \quad (1.3)$$

для некоторого $m \in \mathbb{N}$.

Для \mathbf{E} , \mathbf{H} должны выполняться краевые условия на стенках волновода

$$\mathbf{E}_\tau|_{\partial P} = 0, \mathbf{H}_\nu|_{\partial P} = 0. \quad (1.4)$$

Утверждение 1.1. Пусть $\mathbf{j}_E^0 \in H_{loc}^1(P)$. Тогда $\mathbf{E}^0, \mathbf{H}^0 \in H_{loc}^1(P)$. Пусть, кроме того, $\partial Q \in C^2$, $\hat{\varepsilon} \in C^1(\bar{Q})$. Тогда сужения $\mathbf{E}|_Q, \mathbf{H}|_Q \in H^1(Q)$ и $\mathbf{E}|_{P \setminus Q}, \mathbf{H}|_{P \setminus Q} \in H_{loc}^1(P \setminus Q)$. Кроме того, справедливы условия сопряжения на ∂Q :

$$[\mathbf{E}_\tau]|_{\partial Q} = 0, [\mathbf{H}_\tau]|_{\partial Q} = 0,$$

где $[\cdot]$ означает разность следов с разных сторон ∂Q .

Утверждение 1.2. Тензор Грина \hat{G}_E допускает представление

$$\hat{G}_E = \frac{1}{4\pi} \frac{e^{ik_0|x-y|}}{|x-y|} \hat{I} + \hat{g}(x, y), x, y \in P$$

где матрица-функция (тензор) $\hat{g} \in C^\infty(\bar{Q} \times \bar{P})$ и $\hat{g} \in C^\infty(\bar{P} \times \bar{Q})$.

Утверждение 1.3. Доказано, что решение исходной краевой задачи для уравнений Максвелла для тела Q существует и является единственным. Более того, это решение можно полностью найти через решение соответствующего объемного интегрального уравнения. Верно и обратное: любое решение этого интегрального уравнения позволяет восстановить электромагнитное поле во всей области, которое будет удовлетворять всем исходным уравнениям и граничным условиям.

2. Постановка обратной задачи определения эффективной диэлектрической проницаемости по коэффициенту прохождения

После рассмотрения постановки прямой задачи дифракции перейдем к решению обратной краевой задачи, целью которой является нахождение эффективной диэлектрической проницаемости образца в волноводе. Магнитная проницаемость тела при этом считается постоянной и известной величиной μ_0 . Аналогичная методика применима для определения эффективной магнитной

проницаемости, если учесть свойство симметрии уравнений Максвелла относительно замены электрического и магнитного полей.

Утверждение 2.1. *При стандартных условиях гарантируется единственность решения исходного интегрального уравнения и ассоциированной с ним обратной краевой задачи. Для приближенного построения решения предложен итерационный алгоритм, сходящийся с геометрической скоростью при произвольной инициализации.*

Утверждение 2.2. *В случае нелинейного объемного интегрального уравнения и соответствующей обратной краевой задачи, при выполнении стандартных условий, доказана теорема единственности. Нахождение решения осуществляется с помощью итерационного процесса, который сходится не медленнее геометрической прогрессии, начиная с любого начального приближения.*

3. Постановка обратной задачи определения эффективной диэлектрической проницаемости по коэффициенту отражения

Исследуется обратная задача, целью которой является нахождение эффективной диэлектрической проницаемости изотропного образца в волноводе по измеренному коэффициенту отражения. Образец моделируется как однородный, а его магнитная проницаемость приравнивается к магнитной проницаемости вакуума. Условия задачи предполагают, что в волноводе распространяется только основная мода.

Утверждение 3.1. *Доказано, что при выполнении стандартных условий исходное интегральное уравнение и соответствующая обратная краевая задача имеют единственное решение. Для численного решения задачи может быть применен итерационный метод, обладающий свойством глобальной сходимости со скоростью геометрической прогрессии при любом начальном приближении.*

Утверждение 3.2. *В рамках стандартных условий гарантируется существование и единственность решения как нелинейного объемного интегрального уравнения, так и ассоциированной с ним обратной краевой задачи. При этом приближенное решение может быть получено с помощью итерационного процесса, сходящегося не медленнее геометрической прогрессии для любого начального приближения.*

4. Численные результаты

Рассмотрим тело, расположенное в прямоугольном волноводе со следующими параметрами: размеры тела: $a = 0.02m$, $b = 0.01m$, $c = 0.02m$, волновое число $k_0 = 250m^{-1}$. Размер расчетной сетки $12 \times 12 \times 12$.

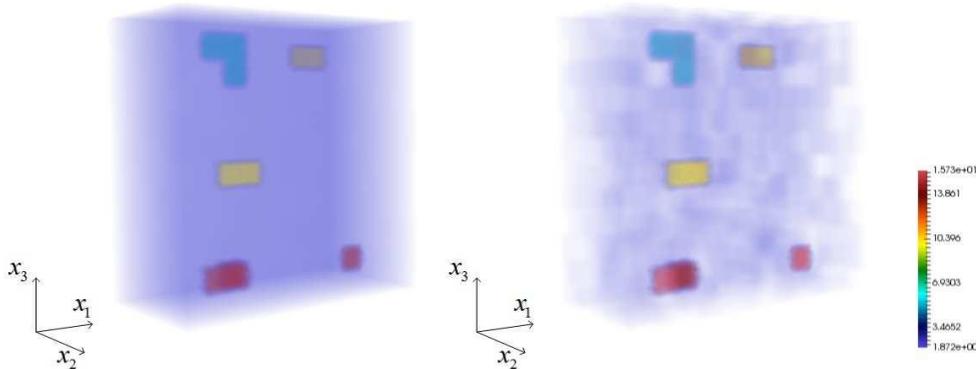


Рис. 1. Восстановленные значения модуля диэлектрической проницаемости тела Q с погрешностью порядка 1 %

Установлено, что максимальное отклонение восстановленного значения диэлектрической проницаемости от эталонного не превосходит 0.01. Данный факт позволяет сделать вывод о пригодности разработанного метода для решения прикладных задач, связанных с определением структуры образцов по косвенным измерениям.

Список литературы

1. Medvedik M. Y., Smirnov Y. G., Tsupak A. A. Non-interactive two-step method for solving scalar inverse 3D diffraction problem // Inverse problem in Science and Engineering. 2020. Vol. 28, № 10. P. 1474–1492.
2. Гурина Е. Е., Медведик М. Ю., Смирнов Ю. Г. Численное и аналитическое решение задачи дифракции электромагнитного поля на диэлектрическом параллелепипеде, расположенном в прямоугольном волноводе // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2010. № 2 (14). С. 44–53.
3. Лапич А. О., Медведик М. Ю. Метод восстановления параметров неоднородностей тела по результатам измерений электромагнитного поля // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 4 (48). С. 142–153.

**МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ
В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПАЦИЕНТА,
ОСНОВАННЫЕ НА СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ
КАРДИОСИГНАЛА В ДИНАМИЧЕСКИХ ОКНАХ**

**Елена Валерьевна Петрунина¹, Дмитрий Андреевич Ермаков²,
Михаил Константинович Скворцов³**

¹Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

^{2,3}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹petrunina@mggeu.ru

^{2,3}kstu-bmi@yandex.ru

Аннотация. Для классификатора функционального состояния больных в процессе реабилитационных процедур предложен способ формирования дескрипторов из мониторингового кардиосигнала. Это стало возможным после перехода от одномерного сигнала к двумерному многоканальному сигналу с последующим выделением его значимых составляющих.

Ключевые слова: функциональное состояние, динамические окна, двумерный спектр, дескрипторы, классификатор

**MODELS OF FORMATION OF DESCRIPTORS IN BIOTECHNICAL
SYSTEMS FOR CONTROL OF THE FUNCTIONAL STATE
OF A PATIENT, BASED ON SPECTRAL ANALYSIS
OF A CARDIAC SIGNAL IN DYNAMIC WINDOWS**

Elena V. Petrunina¹, Dmitry A. Ermakov², Michael K. Skvortsov³

¹Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

^{2,3}South-West State University, Kursk, Russia

¹petrunina@mggeu.ru

^{2,3}kstu-bmi@yandex.ru

Abstract. A method for generating descriptors from a cardiac monitoring signal has been proposed for classifying the functional state of patients undergoing rehabilitation procedures. This became possible by transitioning from a one-

dimensional signal to a two-dimensional multichannel signal, followed by the extraction of its significant components.

Keywords: functional state, dynamic windows, two-dimensional spectrum, descriptors, classifier

Персонализированный подход к процессам лечения и реабилитации больных в настоящее время стал актуален, поэтому методы управления этими процедурами нуждаются в дальнейшем развитии. При этом в качестве основного инструментария управления используют биотехнические обратные связи по суррогатным маркерам, посредством которых осуществляется отрицательная обратная связь по терапевтическому воздействию на орган-мишень. Проводя мониторинг изменения этих показателей, осуществляют управление процедурой реабилитации или терапией посредством обучаемого классификатора функционального состояния (ФС) организма пациента или соответствующего органа, или системы [1–4].

Существующие способы оценки ФС предполагают проведение комплекса функциональных проб и извлечение на их основе комплекта физиологических показателей с последующей их балльной оценкой на соответствующих шкалах. Однако определение количественной оценки ФС весьма сложно, поэтому часто для этих целей используют обучаемые классификаторы [4–7].

Для диагностики ФС систем организма в качестве «сырых» данных используют мониторинг R-R-интервалов с последующим спектральным анализом полученного вариационного ряда. Недостаток данного подхода оценки ФС обусловлен: а) необходимостью наличия методически оправданной функциональной пробы; б) отсутствием учета синхронности регуляторных систем организма при анализе ФС, т.е. игнорированием фазовой характеристики спектральных коэффициентов. Поэтому для выделения дескрипторов целесообразно использовать кардиосигнал полностью.

Для формирования дескрипторов для классификаторов ФС используем результаты анализа электрокардиосигнала (ЭКС) в динамических окнах. При этом окно продвигается по ЭКС с заданным шагом τ , который определяет координаты динамического окна на оси времени. После первого прохода ЭКС окном, происходит инкрементирование окна на величину δ и процесс продвижения окна по ЭКС повторяется. Учитывая, что динамическое

окно не должно выйти за временные пределы сигнала, число окон L различного размера определяется как

$$L = \text{tranc}[(N / 2) / \delta], \quad (1)$$

где N – число отсчетов в ЭКС, tranc – операция выделения целой части из числа.

Индекс ширины окна ℓ принимает значения $\ell=1\dots L$, а ширина окна определяется как $w_\ell = \ell \cdot \delta$.

Если величина приращения координаты окна θ , то число окон на апертуре ЭКС определяется как

$$M = \text{tranc}[N / (2 \cdot \theta)]. \quad (2)$$

Среднее значение в окне w_ℓ определяется как

$$R_{\ell, \tau} = \left(\sum_{k=1}^{w_\ell} Z_{\tau \cdot \theta + k} \right) / w_\ell, \quad (3)$$

где Z_i – i -й отсчет ЭКС.

Аналогичным образом определяем дисперсию в окне

$$S_{\ell, \tau} = \sqrt{\frac{1}{w_\ell - 1} \cdot \sum_{k=1}^{w_\ell} (Z_{\tau \cdot \theta + k} - R_{\ell, \tau})^2}. \quad (4)$$

Для определения дескрипторов определим двумерный спектр средних значений в окнах и их дисперсий. Для этого воспользуемся функцией $\text{CFFT}()$ системы Mathcad, вычисляющей дискретное преобразование Фурье вектора или матрицы любого размера, состоящих из вещественных или комплексных чисел. Она возвращает массив такого же размера, как размеры аргументов.

Обозначим номера частотных отсчетов по координате «размер окна» $\omega_1 = 0\dots L-1$, а номера частотных отсчетов по координате «дислокация окна» $\omega_2 = 0\dots M-1$. Тогда амплитудный двумерный спектр средних значений в окне определяется по формуле

$$\text{FR}_{\omega_1, \omega_2} := \sqrt{(\text{Re}(\text{FR}_{\omega_1, \omega_2}))^2 + (\text{Im}(\text{FR}_{\omega_1, \omega_2}))^2}, \quad (5)$$

где $\text{FR} := \text{CFFT}(\text{R})$ – двумерный спектр средних в окне.

Аналогично для двумерного спектра дисперсий в окне

$$\text{FS}_{\omega_1, \omega_2} := \sqrt{(\text{Re}(\text{FS}_{\omega_1, \omega_2}))^2 + (\text{Im}(\text{FS}_{\omega_1, \omega_2}))^2}. \quad (6)$$

Если ввести частотные отсчеты согласно формулам

$$v1_{\omega1} := \left(\left(\frac{\omega1}{\delta \cdot \Delta \cdot L} \right) \right), v2_{\omega2} := \left(\left(\frac{\omega2}{\theta \cdot \Delta \cdot M} \right) \right), \quad (7)$$

где Δ – шаг дискретизации кардиосигнала, то можем получить амплитудно-частотные спектры сигналов при фиксированном значении одной из координат.

На рисунке 1 представлены восемь спектральных характеристик при фиксации частоты сначала по оси $v2$, а затем по оси $v1$, полученные на типовом ЭКС длительностью 4 минуты.

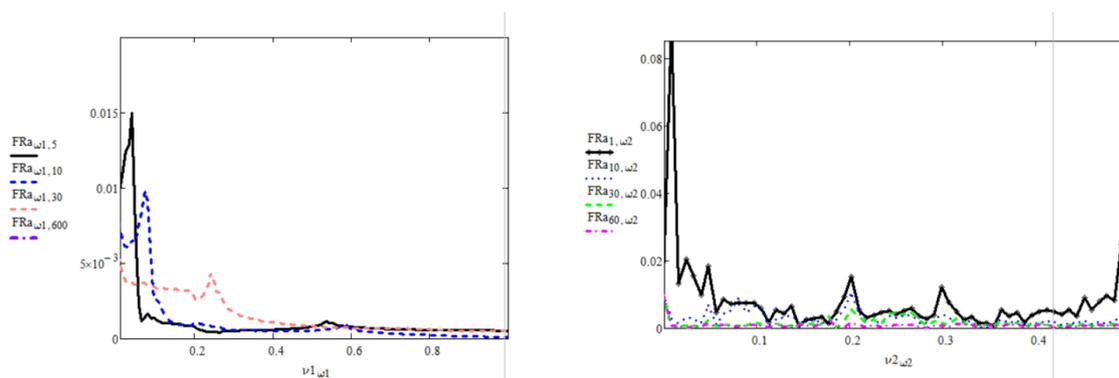


Рис. 1. Примеры сечений двумерного спектра средних значений в восьми фиксированных двумерных координатах

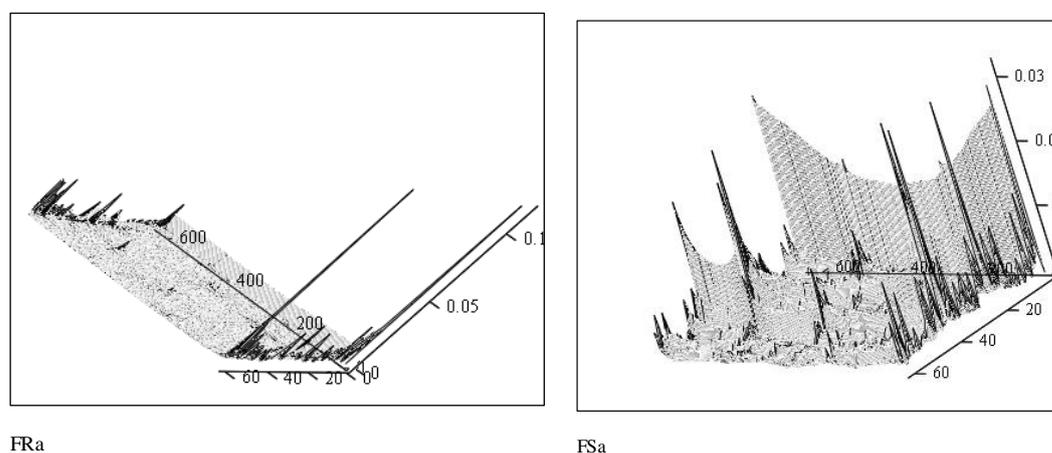


Рис. 2. Двумерные спектры средних значений в динамических окнах и их дисперсий

На рисунке 2 представлены двумерные спектры средних значений в динамических окнах FRa и их дисперсий FSa для того же ЭКС. Псевдо 3D изображения показывают, что матрицы спектраль

ных коэффициентов достаточно разрежены. Необходимо также учитывать, что независимые спектральные коэффициенты составляют лишь одну четвертую из коэффициентов, представленных на этих рисунках.

Полученные дескрипторы используются в обучаемых классификаторах ФС и позволяют управлять программой реабилитации или поддерживать принятие клинических решений. Учитывая, что данная модель формирования дескрипторов позволяет получить два информационных потока, то для построения классификаторов могут быть использованы модели слабых классификаторов со параллельной структурой и агрегатором на их выходе, который также реализован на основе обучаемого классификатора [5–7].

Список литературы

1. Киселев А. В., Филист С. А., Алавси Х. А. Х. [и др.]. Метод классификации функционального состояния системы дыхания, основанный на контроле показателей кардиореспираторного синхронизма // Биомедицинская радиоэлектроника. 2024. Т. 27, № 2. С. 5–12. doi: 10.18127/j15604136-202402-01

2. Петрунина Е. В., Сафронов Р. И., Пшеничный А. Е. [и др.]. Классификационные модели адаптационного потенциала живой системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12, № 2. С. 1–22. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1547> doi: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.010

3. Петрунина Е. В., Филист С. А., Пшеничный А. Е. [и др.]. Метод формирования персонифицированного контента клипов виртуальной реальности для реабилитации пациентов с нарушением двигательной активности // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2024. Т. 23, № 4. С. 183–194 doi: 10.36622/1682-6523.2024.23.4.023

4. Филист С. А., Петрунина Е. В., Пшеничный А. Е. [и др.]. Биотехническая система персонифицированной реабилитации пациентов с ограничением двигательных функций // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13, № 1. С. 1–18. URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1787> doi: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.002

5. Филист С. А., Шаталова О. В., Ефремов М. А. Гибридная нейронная сеть с макрослоями для медицинских приложений // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2014. № 6. С. 35–69.

6. Кудрявцев П. С., Шуткин А. Н., Протасова В. В., Филист С. А. Структурно-функциональная модель для мониторинга влияния управляющих воздействий на функциональное состояние самоорганизующихся систем // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2015. № 2. С. 105–118.

7. Петрунина Е. В., Филист С. А., Шульга Л. В. [и др.]. Гибридный нейронечеткий классификатор для мониторинга эффективности лечения заболеваний системы дыхания с учетом коморбидности // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 4. С. 27–53. doi: 10.21869/2223-1536-2023-13-4-27-53

О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТЕ- И ТМ-ВОЛН, СВЯЗАННЫХ УСЛОВИЕМ НА ГРАНИЦЕ, В ПЛОСКОМ ВОЛНОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДОЙ

Станислав Вячеславович Тихов¹,
Олег Владимирович Кондырев²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹tik.stanislav2015@yandex.ru

²kow20002204@mail.ru

Аннотация. Исследуется распространение двух ТЕ- и ТМ-волн в плоском экранированном волноводе, заполненном пространственно неоднородной нелинейной средой. Волны связаны условием на границе. Рассматриваемая модель описывается нелинейной двухпараметрической задачей на собственные значения для уравнений Максвелла с граничными условиями первого рода и некоторыми дополнительными локальными условиями. Представлена теорема, устанавливающая разрешимость задачи.

Ключевые слова: электромагнитные волны, нелинейные направленные волны, ТЕ-волны, ТМ-волны, плоский волновод, нелинейность Керра

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-71-10036, URL: <https://rscf.ru/project/25-71-10036/>).

ON THE PROPAGATION OF TE AND TM WAVES COUPLED BY A BOUNDARY CONDITION IN A PLANAR WAVEGUIDE FILLED WITH INHOMOGENEOUS NON-LINEAR MEDIA

Stanislav V. Tikhov¹, Oleg V. Kondyrev²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹tik.stanislav2015@yandex.ru

²kow20002204@mail.ru

Abstract. The paper focuses on the propagation of two TE and TM waves in a planar shielded waveguide filled with inhomogeneous non-linear media. Waves are coupled by a boundary condition. The considered model is described by a nonlinear two-parameter eigenvalue problem for Maxwell's equations with

boundary conditions of the first kind and some additional local conditions. The theorem establishing the solvability of the problem is presented.

Keywords: electromagnetic waves, non-linear guided waves, TE waves, TM waves, planar waveguide, Kerr non-linearity

Funding: the work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project № 25-71-10036, URL: <https://rscf.ru/project/25-71-10036/>).

Нелинейными направленными волнами называют электромагнитные волны, которые могут распространяться без потерь в некотором волноводе, заполненном оптически нелинейной средой. Первые работы, посвященные исследованию таких волн, появились еще в начале 1980-х [1].

Стоит отметить, что в большинстве работ, посвященных нелинейным направленным волнам, рассматриваются *поляризованные TE- и TM-волны*. Это объясняется тем, что, во-первых, они важны с прикладной точки зрения, а, во-вторых, описывающие поляризованные волны математические модели достаточно просты, чтобы их исследовать аналитическими методами. Между тем неполяризованные нелинейные волны (имеются ввиду такие волны, у которых все компоненты векторов напряженностей электрического и магнитного полей отличны от нуля) также представляют большой научный интерес. В общем случае исследовать такую задачу аналитически невозможно, но существуют некоторые частные случаи, для которых это удастся сделать.

В настоящей работе рассматривается случай когда электромагнитная волна, представляющая собой сумму двух TE- и TM-поляризованных волн, характеризующихся одной частотой ω и одним волновым числом $\gamma \in R$. Кроме того, на TE- и TM-волны накладывается некоторое дополнительное условие на границе, призванное установить связь между этими объектами. Такие волны исследовались ранее в [2]. Особенность нашего подхода заключается в учете пространственной неоднородности среды распространения связанных электромагнитных волн.

Постановка задачи: рассмотрим электромагнитную волну

$$\mathbf{E}(t, x, z) = \operatorname{Re} \left\{ \tilde{\mathbf{E}}(x, z) \exp(-i\omega t) \right\}, \quad \mathbf{H}(t, x, z) = \operatorname{Re} \left\{ \tilde{\mathbf{H}}(x, z) \exp(-i\omega t) \right\},$$

где $\tilde{\mathbf{E}}$, $\tilde{\mathbf{H}}$ суть комплексные амплитуды вида

$$\tilde{\mathbf{E}} = (E_x(x), E_y(x), E_z(x)) \exp(i\gamma z), \quad \tilde{\mathbf{H}} = (H_x(x), H_y(x), H_z(x)) \exp(i\gamma z).$$

Такая волна представима в виде суммы ТЕ- и ТМ-поляризованных волн: $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$, $\mathbf{H} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2$, где

$$\mathbf{E}_k(t, x, z) = \text{Re} \left\{ \tilde{\mathbf{E}}_k(x, z) \exp(-i\omega t) \right\}, \quad \mathbf{H}_k(t, x, z) = \text{Re} \left\{ \tilde{\mathbf{H}}_k(x, z) \exp(-i\omega t) \right\},$$

и комплексные амплитуды $\tilde{\mathbf{E}}_k$, $\tilde{\mathbf{H}}_k$ имеют вид

$$\tilde{\mathbf{E}}_1(x, z) = (0, E_y(x), 0) \exp(i\gamma z), \quad \tilde{\mathbf{H}}_1(x, z) = (H_x(x), 0, H_z(x)) \exp(i\gamma z),$$

$$\tilde{\mathbf{E}}_2(x, z) = (E_x(x), 0, E_z(x)) \exp(i\gamma z), \quad \tilde{\mathbf{H}}_2(x, z) = (0, H_y(x), 0) \exp(i\gamma z).$$

Волна распространяется в слое

$\Sigma = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq h, (y, z) \in \mathbb{R}^2\}$ с идеально проводящими стенками. Диэлектрическая проницаемость среды в Σ имеет вид

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_2(x) + \alpha_2 |\mathbf{E}_2|^2 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_1 + \alpha_1 |\mathbf{E}_1|^2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_2(x) + \alpha_2 |\mathbf{E}_2|^2 \end{pmatrix},$$

где ε_1 , α_1 , α_2 – положительные постоянные, а $\varepsilon_2 \equiv \varepsilon_2(x)$ – монотонно неубывающая функция переменной x .

Вектора \mathbf{E}, \mathbf{H} должны удовлетворять уравнениям Максвелла, стандартным условиям на идеально проводящих стенках при $x = 0$, $x = h$. Кроме того, накладывается несколько дополнительных граничных условий, обеспечивающих, во-первых, дискретность множества решений задачи (собственных мод волновода), и, во-вторых, связь между ТЕ- и ТМ-волнами. Все эти условия будут записаны ниже.

Выполняя ряд несложных выкладок, представленную модель можно свести к следующей математической задаче. Рассмотрим систему

$$\begin{cases} u_2' u_1' & = -a_1 u_1 - \alpha_1 u_1^3, \\ \gamma^2 u_2 - \gamma u_3' & = a_2 u_2 + \alpha_2 (u_2^2 + u_3^2) u_2, \\ -\gamma u_2' + u_3' & = -a_2 u_3 - \alpha_2 (u_2^2 + u_3^2) u_3, \end{cases} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} u_1|_{x=0} &= 0, & u_1'|_{x=0} &= A_1, \\ u_3|_{x=0} &= 0, & u_2|_{x=0} &= A_2, \\ u_1|_{x=h} &= 0, & u_3|_{x=h} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_1, \alpha_1, \alpha_2, A_1, A_2 \in R_+$, a_2 – некоторая монотонно неубывающая функция. Величины A_1, A_2 подчиняются некоторому дополнительному условию; чтобы его сформулировать нам понадобятся первые интегралы системы (1).

Первый интеграл для первого уравнения системы (1) имеет вид

$$u_1^2 + (a_1 - \gamma^2)u_1^2 + 0.5\alpha u_1^4 = C_1^2, \quad (3)$$

где C_1 – постоянная интегрирования. Первый интеграл для второго и третьего уравнений (1) имеет вид [3]

$$\begin{aligned} & (a_2 + \alpha_2(u_2^2 + u_3^2))^2 u_2^2 - 2\gamma^2(a_2 + \alpha_2(u_2^2 + u_3^2))u_2^2 + \\ & + a_2\gamma^2(u_2^2 + u_3^2) + 0.5\alpha_2\gamma^2(u_2^2 + u_3^2)^2 - \\ & - \gamma_2 \int_0^x a_2'(s)(u_2^2 + u_3^2)ds = C_2^2, \end{aligned} \quad (4)$$

где C_2 – постоянная интегрирования. Потребуем, чтобы числа C_1, C_2 удовлетворяли условию

$$C_1^2 + C_2^2 = C^2, \quad (5)$$

где C – фиксированная величина. Вычисляя (3) при $x = 0$, находим $A_1^2 = C_1^2$. Вычисляя (4) в той же точке, получаем

$$\begin{aligned} & (a_2(0) - \gamma^2 + \alpha_2 A_2^2)^2 A_2^2 + \gamma^2(a_2(0) - \gamma^2)A_2^2 + \\ & + 0.5\alpha_2\gamma^2 A_2^4 = C_2^2; \end{aligned} \quad (6)$$

можно показать, что при любом C_2^2 из (6) однозначно определяется A_2^2 [3].

Таким образом, постоянные A_1, A_2 в условиях (2) однозначно определяются числами C_1, C_2 , которые связаны соотношением (5).

Итак, задача \mathbb{P} заключается в нахождении таких троек чисел $(\gamma, C_1, C_2) = (\bar{\gamma}, \bar{C}_1, \bar{C}_2)$, для которых существуют решения системы (1), удовлетворяющие условиям (2), где $A_1 = \bar{C}_1$, A_2 определяется из (6) при некотором $C_2 = \bar{C}_2$, а числа \bar{C}_1, \bar{C}_2 связаны условием (5).

Для аналитического исследования задачи \mathbb{P} используется следующий подход. Во-первых, заметим, что если опустить условие связи (5), то задача \mathbb{P} распадается на две независимые задачи о распространении ТЕ- и ТМ-волн. Назовем их задачами \mathbb{P}_1 (ТЕ-волны) и \mathbb{P}_2 (ТМ-волны). Каждая из них заключается в нахождении значений только волнового числа γ , тогда как C_j

можно выбрать произвольно. Будем исследовать задачи $\mathbb{P}_1, \mathbb{P}_2$, используя метод *интегральных характеристических уравнений*. Такой подход позволяет не только доказать разрешимость указанных задач, но и установить свойства их решений, ключевыми из которых для нас являются следующие два свойства. Во-первых, это непрерывная зависимость собственных значений задач \mathbb{P}_j от параметров C_j . Во-вторых, пусть $\gamma = \bar{\gamma}$ – некоторое достаточно большое собственное значение задачи \mathbb{P}_j ; тогда при стремлении параметра C_j к нулю $\bar{\gamma}$ стремится к $+\infty$. Используя эти два свойства и некоторые другие вспомогательные рассуждения, доказывается следующая теорема.

Теорема 1 *Для любого заданного конечного положительного целого числа n найдется по крайней мере n решений $(\bar{\gamma}, \bar{C}_1, \bar{C}_2)$ задачи \mathbb{P} , где $\bar{C}_2 = C_2(\bar{C}_1)$ определяется из (5).*

Физическая интерпретация теоремы 1 такова: в волноводе Σ заданной конфигурации существует не менее n собственных мод изучаемого типа.

Для нахождения приближенных решений задачи \mathbb{P} применяется метод пристрелки, адаптированный на случай двухпараметрической задачи с одним спектральным и одним дополнительным параметрами.

Таким образом, задача о распространении двух ТЕ и ТМ волн, связанных некоторым дополнительным условием, не только имеет самостоятельный научный интерес, но может быть использована в качестве вспомогательной в методе возмущений для нахождения решений более сложной задачи о распространении неполяризованных нелинейных направленных волн.

Список литературы

1. Agranovich V. M., Babichenko V. S., Chernyak V. Y. Nonlinear surface polaritons // JETP Lett. 1980. Vol. 32. P. 532.
2. Мартынова В. Ю. О существовании нелинеаризуемых решений в неклассической двухпараметрической нелинейной краевой задаче // Дифференциальные уравнения. 2024. Т. 60, № 4. С. 472–491.
3. Tikhov S. V., Valovik D. V. Nonlinearizable solutions in an eigenvalue problem for maxwell's equations with nonhomogeneous nonlinear permittivity in a layer // SAPM. 2022. Vol. 149, № 3. P. 565–587.

МАТРИЧНОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА ДЛЯ СИСТЕМ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Олег Эмануилович Яремко¹,
Валерия Александровна Парфенова²

¹*Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва, Россия*

²*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», г. Москва, Россия*

¹yaremki@mail.ru

Аннотация. Развивается операционное исчисление на основе матричного преобразования Лапласа с точкой деления для решения систем дифференциальных уравнений с кусочно-постоянными коэффициентами. Рассмотрены мотивационные примеры из электротехники, связанные с переходными процессами в цепях с коммутацией. Доказана формула обращения Меллина, изучены свойства преобразования и приведены примеры применения метода. Разработан алгоритм на Python для численного моделирования переходных процессов.

Ключевые слова: матричное преобразование Лапласа, формула обращения Меллина, системы с переключениями, кусочно-постоянные коэффициенты, переходные процессы, операционное исчисление, численное моделирование

MATRIX LAPLACE INTEGRAL TRANSFORM FOR SWITCHED SYSTEMS AND ITS APPLICATIONS

Oleg E. Yaremko¹, Valeria A. Parfenova²

¹*Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia*

²*National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia*

¹yaremki@mail.ru

Abstract. The article develops operational calculus based on matrix Laplace transform with switching point for solving systems of differential equations with piecewise constant coefficients. Motivational examples from electrical engineering related to transient processes in switching circuits are considered.

The Mellin inversion formula is proved, the properties of the transform are studied, and examples of method application are given. A Python algorithm for numerical simulation of transient processes is developed.

Keywords: matrix Laplace transform, Mellin inversion formula, switched systems, piecewise constant coefficients, transient processes, operational calculus, numerical simulation

Анализ динамических систем с переключениями представляет собой одну из наиболее актуальных задач современной теории управления и прикладной математики. Такие системы широко распространены в различных областях науки и техники, включая силовую электронику, робототехнику, энергетические системы и биомедицинскую инженерию [1]. Характерной особенностью данных систем является наличие моментов времени, в которые происходит скачкообразное изменение их параметров или структуры, что приводит к существенным осложнениям при их математическом моделировании и анализе. Классические методы операционного исчисления, основанные на преобразовании Лапласа [2], оказываются недостаточно эффективными для решения систем дифференциальных уравнений с кусочно-постоянными коэффициентами. Традиционный подход, предполагающий отдельное решение на каждом интервале постоянства параметров с последующим сшиванием решений в точках переключения, становится чрезвычайно громоздким при увеличении числа переключений и размерности системы. Кроме того, данный метод не позволяет получить компактное аналитическое представление решения в замкнутой форме. В настоящей статье предлагается новый подход к решению указанной проблемы, основанный на разработке матричного интегрального преобразования Лапласа с точкой деления. Основная идея метода заключается в обобщении классического преобразования Лапласа на случай матричных коэффициентов, изменяющихся в заданный момент времени. Такой подход позволяет единообразно описывать поведение системы на всей временной оси и получать решение в компактной матричной форме. Актуальность предлагаемого метода обусловлена его потенциальными приложениями в различных областях. В электротехнике это анализ переходных процессов в цепях с коммутацией, в робототехнике – задачи управления манипуляционными системами с переменной структурой, в энергетике – моделирование систем с пере-

ключением режимов работы [3, 4]. Особую значимость метод приобретает при проектировании современных силовых преобразователей, где точный расчет переходных процессов определяет энергетическую эффективность и надежность устройства.

Рассмотрим RLC-цепь с коммутацией, где в момент времени t_0 происходит переключение ключа K , что приводит к изменению параметров цепи. До коммутации ($t < t_0$): $R = R_1, L = L_1, C = C_1$. После коммутации ($t > t_0$): $R = R_2, L = L_2, C = C_2$. Система уравнений, описывающая такую цепь, имеет вид:

$$\begin{cases} L_1 \frac{di}{dt} + R_1 i + \frac{1}{C_1} \int i dt = E, & t < t_0, \\ L_2 \frac{di}{dt} + R_2 i + \frac{1}{C_2} \int i dt = E, & t > t_0. \end{cases}$$

Такие системы с кусочно-постоянными коэффициентами не могут быть эффективно решены классическим преобразованием Лапласа, что мотивирует развитие матричного операционного исчисления.

Основные определения

Матричным преобразованием Лапласа с точкой деления $t = t_0$ вектор-функции $f(t)$ назовем вектор-функцию $F(p)$, определяемую по правилу:

$$L[f(t)] = F(p) = \int_0^\infty \left(a_1 e^{-a_1 p t} H(t_0 - t) + e^{-a_1 p t_0} a_2 e^{-a_2 p (t-t_0)} H(t - t_0) \right) f(t) dt,$$

где $e^{-a_k p t}$ – матричная экспонента, $H(t)$ – функция Хевисайда.

Если $a_1 = a_2 = E$ (единичная матрица), то матричное преобразование Лапласа сводится к покоординатному классическому преобразованию Лапласа.

Представим формулу обращения Меллина. Пусть $F(p)$ – изображение матричного преобразования Лапласа с точкой деления, тогда справедлива формула обращения:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{p t a_1} F(p) dp H(t_0 - t) + \frac{1}{2\pi} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{p a_2 (t-t_0)} e^{p a_1 t_0} F(p) dp H(t - t_0).$$

Доказательство проводится отдельно для случаев $t < t_0$ и $t > t_0$ с использованием спектральных разложений матриц a_1

и a_2 и применения классической формулы обращения Меллина [5] к каждому координатному преобразованию.

Основные теоремы матричного операционного исчисления.

1. Теорема о дифференцировании оригинала:

$$L[D(f)] = pF(p) - f(0).$$

где оператор дифференцирования определен как:

$$D[f(t)] = a_1^{-1} \frac{d}{dt} [f(t)](H(t) - H(t - t_0)) + \\ + a_2^{-1} \frac{d}{dt} [f(t)]H(t - t_0).$$

2. Теорема об интегрировании оригинала:

$$L\left[\int_0^t f(\tau) d\tau\right] = \frac{1}{p} F(p).$$

3. Теорема о сдвиге: для перестановочных матриц a_1, a_2 :

$$L[e^{-\alpha t} f(t)] = F(p + \alpha).$$

Рассмотрим приложения к системам с переключениями. Мы приходим к задаче Коши для системы дифференциальных уравнений с кусочно-постоянными коэффициентами:

$$(a_1^{-1} H(t_0 - t) + a_2^{-1} H(t - t_0)) y' = y + f(t), \quad y(0) = y_0.$$

Применяя матричное преобразование Лапласа, получаем решение в изображениях:

$$Y(p) = \frac{1}{p-1} y_0 + \frac{1}{p-1} F(p).$$

Оригинал решения имеет вид:

$$y(t) = e^{a_1 t} y_0 H(t_0 - t) + e^{a_2(t-t_0)} e^{a_1 t_0} y_0 H(t - t_0) + y_1(t),$$

где $y_1(t)$ – вынужденная составляющая, которая имеет вид:

$$y_1(t) = a_1 \int_0^t e^{a_1(t-\tau)} f(\tau) d\tau H(t - t_0) + \\ + \left(a_1 \int_0^{t_0} e^{a_2(t-t_0)+a_1(t_0-\tau)} f(\tau) d\tau + a_2 \int_0^t e^{a_2(t-\tau)} f(\tau) d\tau \right) H(t - t_0).$$

Численное моделирование на языке Python

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp
```

```

def switched_system(t, y, t0, A1, A2, f1, f2):
    """
    Система дифференциальных уравнений с переключением
    """
    if t < t0:
        return A1 @ y + f1(t)
    else:
        return A2 @ y + f2(t)

# Параметры системы
t0 = 2.0 # момент переключения
A1 = np.array([[ -1, 2], [-2, -1]]) # матрица до переключения
A2 = np.array([[ -2, 1], [-1, -2]]) # матрица после переключения

def f1(t):
    return np.array([0, 0])

def f2(t):
    return np.array([np.sin(t), 0])

# Начальные условия
y0 = np.array([1, 0])

# Временной интервал
t_span = (0, 5)
t_eval = np.linspace(0, 5, 1000)

# Решение системы
sol = solve_ivp(switched_system, t_span, y0, t_eval=t_eval,
                args=(t0, A1, A2, f1, f2), method='RK45')

# Визуализация результатов
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(sol.t, sol.y[0], label='y1(t)')
plt.plot(sol.t, sol.y[1], label='y2(t)')
plt.axvline(x=t0, color='r', linestyle='--',
            label=f'Момент переключения t={t0}')
plt.xlabel('Время')
plt.ylabel('Состояние системы')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('Решение системы с переключением')
plt.show()

```

Заключение

В работе представлено матричное операционное исчисление для решения систем дифференциальных уравнений с кусочно-

постоянными коэффициентами. Основные результаты: определено матричное преобразование Лапласа с точкой деления, доказана формула обращения Меллина, изучены основные свойства преобразования, разработаны методы решения систем с переключениями, приведены примеры из электротехники и численные алгоритмы. Предложенный метод матричного преобразования Лапласа открывает значительные перспективы как в теоретическом, так и в прикладном аспектах. Метод предназначен для анализа переходных процессов в системах с коммутацией, что особенно актуально для современных энергетических систем и силовой электроники. Ключевые направления развития включают: теоретическое обобщение на более сложные классы систем, эффективные вычислительные алгоритмы для практических приложений, междисциплинарные приложения в различных областях науки и техники, интеграцию с современными вычислительными технологиями и машинным обучением. Метод обладает значительным потенциалом для становления в качестве стандартного инструмента анализа и синтеза сложных динамических систем с переключениями.

Список литературы

1. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. М. : Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Aghili A. New trends in Laplace type integral transforms with applications // Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática. 2017. Vol. 35, № 1. P. 173–193.
3. Yaremko O. E., Zababurin K. R. Transmutation Operators Based on Homotope Analysis for Nonlocal Boundary Value Problems // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. Vol. 44, № 3. P. 1060–1071.
4. Sitnik S. M., Yaremko O., Yaremko N. Transmutation Operators and Applications // Transmutation Operators Boundary Value Problems. 2020. P. 447–466.
5. Brychkov Yu. A., Prudnikov A. P., Shishov V. S. Operational calculus // Itogi Nauki i Tekhn. Ser. Mat. Anal. 1979. Vol. 16. P. 99–148.

ОПЕРАТОР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ДВУХСЛОЙНОЙ НЕОГРАНИЧЕННОЙ СРЕДЕ

Олег Эмануилович Яремко¹, Наталия Николаевна Яремко²

¹Московский государственный технологический университет
«СТАНКИН», г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», г. Москва, Россия

^{1,2}yaremki@mail.ru

Аннотация. Метод операторов преобразования применяется для трансформации эффективной модели в однородной среде с преобразованными начальными условиями в реальную математическую модель для двухслойной среды с условиями идеального контакта. Найдена симметричная конструкция обобщенного интегрального преобразования Фурье, имеющая физический смысл. Получено явное разделение решения на прямые и отраженные тепловые волны. Найдено решение задачи Коши в спектральной области методом обобщенного преобразования Фурье.

Ключевые слова: операторный метод, обобщенное преобразование Фурье, задача Коши, формула Пуассона

OPERATOR TRANSFORM FOR SIMULATING HEAT TRANSFER IN AN INFINITE TWO-LAYER MEDIUM

Oleg E. Yaremko¹, Natalia N. Yaremko²

¹Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

²National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

^{1,2}yaremki@mail.ru

Abstract. The operator method is used to transform an effective model in a homogeneous medium with modified initial conditions into a real mathematical model for a two-layer medium with perfect contact conditions. A symmetric structure of the generalized Fourier integral transform, which has a physical meaning, has been found. An explicit separation of the solution into direct and reflected thermal waves has been obtained. The solution to the Cauchy problem in the spectral domain has been found using the generalized Fourier transform method.

Keywords: operator method, generalized Fourier transform, Cauchy problem, Poisson formula

Рассмотрим процесс теплопереноса в двухслойной неограниченной среде с идеальным тепловым контактом на границе раздела $x = 0$ [1]. Математическая модель приводит к задаче Коши для сепаратной системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = a_1^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < t, x < 0, \\ \frac{\partial T}{\partial t} = a_2^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, 0 < t, x > 0, \end{cases}$$

с условиями идеального контакта:

$$T(0-, t) = T(0+, t), t > 0 \quad (\text{непрерывность температуры}),$$

$$k_1 \frac{\partial T}{\partial x}(0-, t) = k_2 \frac{\partial T}{\partial x}(0+, t), t > 0 \quad (\text{непрерывность}$$

теплового потока) с начальным условием

$$T(x, 0) = \varphi(x), x \in R.$$

Здесь приняты следующие обозначения для физических параметров: коэффициент температуропроводности α_i , теплопроводность k_i в среде i , $i = \overline{1..2}$.

Рассмотрим также задачу Коши для эффективной однородной среды

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial t} = \frac{\partial^2 \tilde{T}}{\partial x^2}, 0 < t, x \in R,$$

$$\tilde{T}(x, 0) = \tilde{\varphi}(x) \in R.$$

Оператор J , осуществляющий преобразование решения из эффективной однородной среды в решение для реальной двухслойной среды, определим по формуле:

$$J[\tilde{T}](x, t) = \begin{cases} \frac{1+m}{2} \tilde{T}(x/a_1, t) + \frac{1-m}{2} \tilde{T}(-x/a_1, t), & x < 0, \\ \frac{1+m^{-1}}{2} \tilde{T}(x/a_2, t) + \frac{1-m^{-1}}{2} \tilde{T}(-x/a_2, t), & x > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $m = \sqrt{k_1/k_2 \cdot a_2/a_1}$ – параметр, характеризующий отношение теплофизических свойств среды, $\tilde{T}(x, t)$ решение задачи Коши для эффективной однородной среды, $T(x, t)$ решение задачи Коши реальной двухслойной среды.

Эффективная однородная среда – это математическая абстракция, позволяющая свести сложную двухслойную задачу к более простой однородной. В этой гипотетической среде теплофизические свойства постоянны во всем пространстве, отсутствуют границы раздела и связанные с ними эффекты, решение описывается стандартным уравнением теплопроводности, начальные условия "исправлены" с учетом будущей неоднородности.

Оператор обратный к J имеет вид:

$$J^{-1}[T](x) = \begin{cases} \frac{(m+1)T(x,t) - (m-1)T(-x,t)}{m^2+1} \cdot m, & x < 0, \\ \frac{-(m-1)T(-x,t) + (m+1)T(x,t)}{m^2+1} \cdot m, & x > 0. \end{cases} \quad (2)$$

Замечание. В работе авторов [2] была предложена другая версия оператора преобразования, в которой не было симметрии в конструкции оператора на промежутках $x < 0$ и $x > 0$. Формулы (1) и (2) симметричны, так как слагаемое при $x > 0$ получается из слагаемого при $x < 0$ заменой m на m^{-1} .

Выполним преобразование начального распределения температуры в эффективную однородную среду:

$$\tilde{\varphi}(x) = J^{-1}[\varphi](x).$$

Это преобразование "исправляет" начальные условия с учетом неоднородности среды. Затем решение в неограниченной однородной среде определим формулой Пуассона

$$\tilde{T}(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi t}} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{\varphi}(\xi) \exp\left(-\frac{(x-\xi)^2}{4t}\right) d\xi.$$

Наконец, решение для однородной среды оператором преобразования J возвращается назад в двухслойную среду:

$$T(x, t) = J[\tilde{T}](x, t).$$

Решение, полученное операторным методом, имеет наглядный физический смысл. Ядро интегрального оператора, полученного в результате действия J на правую часть формулы Пуассона, представляет собой суперпозицию прямого распространения – распространение тепловой волны без отражений и отраженных волн – вклад волн, испытавших отражение на границе раздела.

Обобщенное преобразование Фурье определяется через обратный оператор J^{-1} :

$$\mathcal{F}_{\text{об}}[f](k) \equiv \mathcal{F}[\tilde{f}](k) = \int_{-\infty}^{\infty} J^{-1}[f](x) e^{-ikx} dx, \quad (3)$$

здесь \mathcal{F} классическое преобразование Фурье. После подстановки явного вида оператора J^{-1} получаем формулу:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{\text{об}}[f](k) = & \frac{2}{m^2+1} \left[\frac{1}{a_1} \int_{-\infty}^0 f(u) e^{-i(k/a_1)u} du + \right. \\ & \left. + \frac{m^2}{a_2} \int_0^{\infty} f(u) e^{-i(k/a_2)u} du \right]. \end{aligned}$$

Обобщенное преобразование Фурье представляет спектральное разложение функции $f(x)$ с учетом разных волновых чисел в различных средах: k/a_1 и k/a_2 , взвешивания вкладов от разных сред через параметр m^2 , сохранения энергии через нормировочный коэффициент $\frac{2}{m^2+1}$. Из формулы (3) следует, что обратное обобщенное преобразование находится по формуле

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{F}_{\text{об}}[f](k) \Phi(x, k) dk. \quad (4)$$

где ядро интегрального преобразования имеет вид:

$$\Phi(x, k) = \begin{cases} \cos\left(\frac{kx}{a_1}\right) + im \sin\left(\frac{kx}{a_1}\right), & x < 0, \\ \cos\left(\frac{kx}{a_2}\right) + im^{-1} \sin\left(\frac{kx}{a_2}\right), & x > 0. \end{cases} \quad (5)$$

Физическая интерпретация формулы разложения в спектральной области состоит в следующем: для $x < 0$ компонента $\cos\left(\frac{kx}{a_1}\right)$ определяет стоячую волну в первой среде, а компонента $im \sin\left(\frac{kx}{a_1}\right)$ – бегущую волну с учетом отражения; для $x > 0$ компонента $\cos\left(\frac{kx}{a_2}\right)$ определяет стоячую волну в первой среде, а компонента $im \sin\left(\frac{kx}{2a_1}\right)$ – бегущую волну с учетом преломления.

Найдем обобщенное преобразование Фурье начального условия

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{\text{об}}[\varphi](k) = & \frac{2}{m^2+1} \left[\frac{1}{a_1} \int_{-\infty}^0 \varphi(u) e^{-i(k/a_1)u} du + \right. \\ & \left. + \frac{m^2}{a_2} \int_0^{\infty} \varphi(u) e^{-i(k/a_2)u} du \right]. \end{aligned}$$

По определению $\mathcal{F}_{\text{об}}[\varphi](k) = \mathcal{F}[\tilde{\varphi}](k)$. Тогда решение в спектральной области имеет вид:

$$\mathcal{F}_{\text{об}}[T](k, t) = e^{-k^2 t} \mathcal{F}[\tilde{\varphi}](k) = e^{-k^2 t} \mathcal{F}[\tilde{\varphi}](k), \quad (6)$$

где множитель $e^{-k^2 t}$ описывает затухание гармоник с волновым числом k . Таким образом, каждая спектральная компонента эволюционирует по своему закону.

Из формулы (6) получим представление решения в виде интеграла типа Пуассона:

$$T(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{F}_{\text{об}}[\varphi](k) e^{-k^2 t} \Phi(x, k) dk, \quad (7)$$

где $\Phi(x, k)$ ядро интегрального преобразования.

Формула (7) содержит информацию о физическом смысле решения в спектральной области. Она ясно показывает, что различные спектральные компоненты распространяются независимо, гармоники с большими k затухают быстрее так как они пропорциональны $e^{-k^2 t}$, временная эволюция одинакова для всех гармоник.

В качестве приложения можно получить спектральное представление функции Грина для задачи Коши:

$$G(x, \zeta, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-k^2 t} \Phi(x, k) e^{-ik\zeta} dk.$$

Преимущества спектрального подхода состоят в следующем: время и пространство разделяются, временная эволюция характеризуется умножением на $e^{-k^2 t}$, автоматический учет граничных условий через структуру ядра $\Phi(x, k)$, физическая интерпретация состоит в явном разделении по модам, численная эффективность заключается в возможности применения быстрого преобразования Фурье для вычислений.

Заключение. Оператор преобразования J служит мостом между простыми решениями в однородных средах и сложными физическими процессами в реальных неоднородных системах.

Список литературы

1. Самарский А. А., Вабищевич П. Н. Вычислительная теплопередача. М. : Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Yaremko O. E., Zababurin K. R. Transmutation Operators Based on Homotopy Analysis for Nonlocal Boundary Value Problems // Lobachevskii Journal of Mathematics. 2023. Vol. 44, № 3. P. 1060–1071.

2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

УДК 004.9

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ДАТАСЕТОВ ДЛЯ СИСТЕМ МЕДИЦИНСКОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Герман Эдуардович Жданович¹,
Денис Алексеевич Мельников²,
Михаил Александрович Терехин³,
Антон Владимирович Иващенко⁴**

*¹Приволжский государственный университет путей сообщения,
г. Самара, Россия*

*²Пензенский государственный технологический университет,
г. Пенза, Россия*

*^{3,4}Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹german-zhdanovich@yandex.ru

²den.melnickov2001@yandex.ru

³terexin.m.a@yandex.ru

⁴anton.ivashenko@gmail.com

Аннотация. Представлена имитационная модель организации процесса сбора биометрических данных в клиническом учреждении с применением программной среды AnyLogic. Модель позволяет оценить временные издержки процедур, выполняемых техническим персоналом, и определить оптимальные сценарии взаимодействия с испытуемыми для формирования медицинских датасетов. Предложен вариант оптимизации путем интеграции операций измерения сатурации (SPO₂) и артериального давления, что позволяет сократить время цикла сбора данных на 6,4 %. Результаты могут использоваться при проектировании информационно-измерительных систем и цифровых двойников медицинских процессов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, AnyLogic, биометрические данные, медицинские информационные системы, датасет, оптимизация процесса

SIMULATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL MEASURES FOR DEVELOPING DATASETS IN MEDICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Hermann E. Zhdanovich¹, Denis A. Melnikov²,
Michael A. Terekhin³, Anton V. Ivashchenko⁴**

¹Volga State Transport University, Samara, Russia

²Penza State Technological University, Penza, Russia

^{3,4}Samara State Medical University, Samara, Russia

¹german-zhdanovich@yandex.ru

²den.melnickov2001@yandex.ru

³terexin.m.a@yandex.ru

⁴anton.ivashenko@gmail.com

Abstract. The article presents a simulation model of organizing biometric data collection in a clinical environment using AnyLogic. The model estimates the time costs of procedures performed by technical staff and identifies optimal interaction scenarios with subjects for dataset formation. An optimized scenario is proposed by integrating the measurements of oxygen saturation (SPO₂) and blood pressure, reducing the overall cycle time by 6,4 %. The results can be applied to the design of information-measurement systems and digital twins of medical processes.

Keywords: simulation modeling, AnyLogic, biometric data, medical information systems, dataset, process optimization

В области цифрового здравоохранения активно развиваются подходы, основанные на моделировании процессов медицинской деятельности. Особое внимание уделяется применению концепции цифрового двойника (Digital Twin, DT) и методов дискретно-событийного и агентного моделирования (DES/ABM), позволяющих количественно оценивать влияние организационных решений на эффективность клинических процессов и загрузку персонала [1–4]. Такие модели используются для прогнозирования времени ожидания, оптимизации маршрутов пациентов и повышения управляемости медицинских подразделений.

Одновременно в здравоохранении усиливается интеграция телемедицины, систем удалённого мониторинга и стандартизированных протоколов обмена данными, что способствует унификации процедур оказания помощи и сокращению временных затрат при дистанционных консультациях [5–7]. Совершенствование

нормативно-правовой базы, регламентирующей применение телемедицины и искусственного интеллекта (ИИ), создаёт условия для формирования единого цифрового контура медицинских услуг [8].

Повсеместное внедрение технологий искусственного интеллекта не обошло и сферу здравоохранения, к таковым относятся искусственные нейронные сети и другие алгоритмы машинного обучения. Эффективность систем ИИ напрямую зависит от качества датасета (исходных данных), являющихся в медицине структурированным массивом клиничко-диагностической информации. Поскольку датасет служит основой для обучения нейронных сетей, его формирование является важной научной задачей, требующей репрезентативности и однородности данных относительно групп здоровых и больных пациентов. Это условие достижимо, например, в рамках профилактических осмотров, однако в условиях стационара реализация такого подхода ограничена.

Для обеспечения стабильного качества данных необходима оптимизация процессов их сбора и внедрение соответствующих организационно-технических решений. Моделирование подобных процессов средствами имитационного моделирования и теории систем массового обслуживания позволяет оценивать эффективность процедур, выявлять «узкие места» и выбирать оптимальные режимы функционирования. Интеграция автоматизированных систем измерения витальных параметров (артериальное давление, сатурация кислорода, частота сердечных сокращений и др.) способствует сокращению ручных операций и повышает оперативность сбора данных [9].

Актуальной задачей остаётся обеспечение сопоставимости и воспроизводимости результатов моделирования. Для этого требуется единая система описания временных характеристик и процедурных последовательностей, обеспечивающая переносимость моделей между различными учреждениями и регионами [10]. Настоящее исследование направлено на анализ и оптимизацию процессов сбора медицинских данных с использованием дискретно-событийного моделирования как инструмента повышения эффективности взаимодействия участников клинических процессов.

В этой работе представлена дискретно-событийная модель организационной процедуры сбора медицинского датасета на примере интеллектуальной системы диагностики по данным фотоплетизмографии.

Рассмотрены два сценария. В первом сценарии (рис. 1.а) все этапы выполняются строго последовательно; суммарное время на цикл равно сумме задержек этапов первого и второго подциклов (между ними – физнагрузка). Во втором сценарии (рис. 1,б) измерение SpO₂ выполняется параллельно с началом измерения АД; отдельный блок SpO₂ исключается, а его длительность «поглощается» временем надевания манжеты/нагнетания воздуха и фиксации значения АД. Конфигурация постов и численность персонала не меняются.

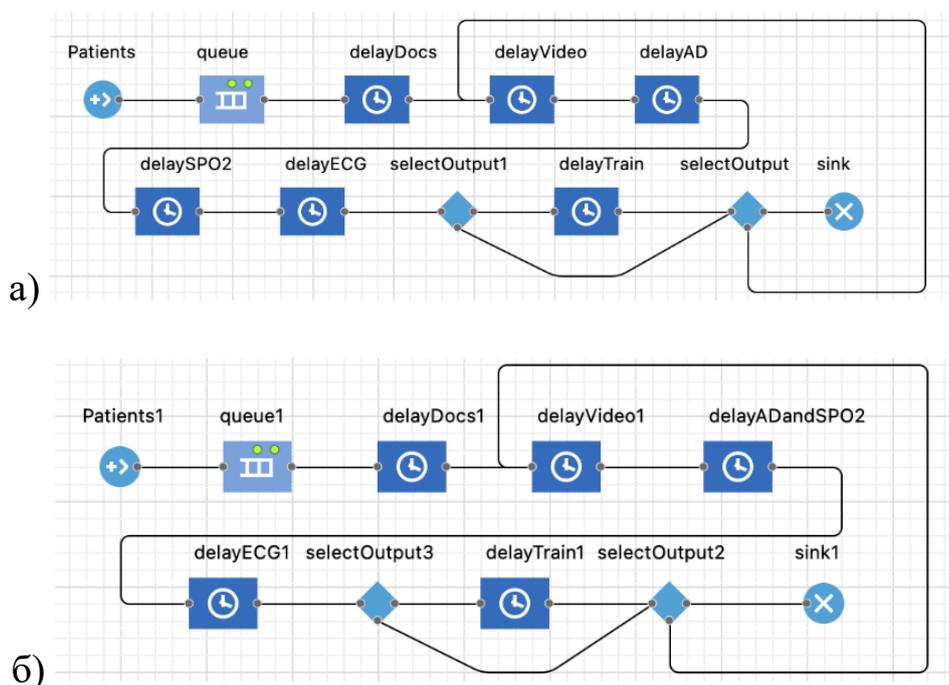


Рис. 1. Дискретно-логическая модель сбора датасета:
 а) последовательный (Сценарий 1);
 б) оптимизированный (Сценарий 2)

Горизонт симуляции – рабочая смена; единица времени – минуты. Основные метрики: среднее суммарное время цикла на одного испытуемого (mean time in system) и относительное сокращение при переходе от Сценария 1 к Сценарию 2. Дополнительно отслеживались средние задержки по этапам, чтобы идентифицировать локальные узкие места.

Параллельное измерение АД + SpO₂ сокращает среднее время цикла на 47 с, что составляет 6,4 % (рис. 2).

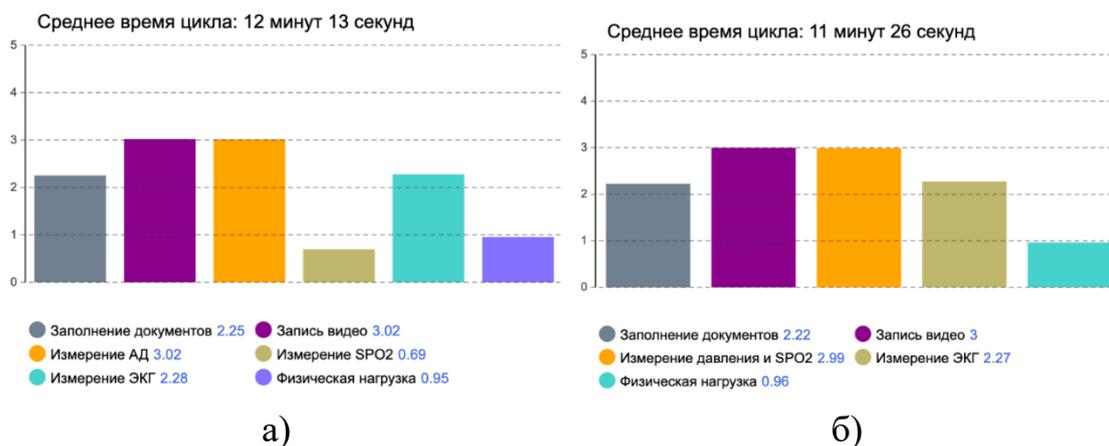


Рис. 2. Временные затраты на сбор датасета при различных сценариях:
 а) последовательном (Сценарий 1);
 б) оптимизированном (Сценарий 2)

Прочие этапы (документы, видео, ЭКГ, физнагрузка) инвариантны относительно предлагаемой перестройки, поэтому их средние задержки статистически не меняются. В агрегировании по смене выигрыш конвертируется в дополнительный «резерв времени» для 1–2 обследований (в зависимости от реальной загрузки постов и плотности расписания), что согласуется с наблюдениями в исследованиях по оптимизации внутрибольничной логистики и потоков пациентов на основе DES/ABM.

Разработанная дискретно-событийная модель продемонстрировала возможность количественной оценки результатов внедрения новых организационно-технических решений в сфере здравоохранения и может быть использована для оптимизации регламентов сбора данных и составления датасетов для систем искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Katsoulakis E., Wang Q., Wu H. [et al.]. Digital twins for health: a scoping review // NPJ Digital Medicine. 2024. Vol. 7. Art. 126. doi: 10.1038/s41746-024-01073-0
2. Riahi V., Diouf I., Khanna S. [et al.]. Digital Twins for Clinical and Operational Decision-Making: Scoping Review // Journal of Medical Internet Research. 2025. Vol. 27. P. e55015. doi: 10.2196/55015
3. Alhaider A. A., Lau N., Alotaik O., Davenport P. B. Discrete event simulation and agent-based modelling of distributed situation awareness in patient flow management // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. Art. 15344. doi: 10.1038/s41598-025-15344-7

4. Vecillas Martin D., Berruezo Fernández C., Gento Municio A. M. Systematic Review of Discrete Event Simulation in Healthcare and Statistics Distributions // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, № 4. P. 1861. doi: 10.3390/app15041861

5. Колсанов А. В., Гаранин А. А. Опыт организации центра телемедицины в университетских клиниках // Врач и информационные технологии. 2024. № 3. С. 25–33.

6. Мурашко М. А., Мирошниченко Е. Г., Гусева Н. А. [и др.]. Организационно-правовые аспекты оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий в Российской Федерации и зарубежных странах // Национальное здравоохранение. 2024. № 4. С. 58–63.

7. Шахова Т. Г., Ходакова О. В. Организация оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий: нормативное правовое регулирование в Российской Федерации // Национальное здравоохранение. 2025. № 6 (1). С. 5–18. doi: 10.47093/2713-069X.2025.6.1.5-18

8. Телемедицина при оказании медицинской помощи: с 1 сентября 2025 года действует новый порядок // КонсультантПлюс : офиц. сайт. 2025. URL: <https://www.consultant.ru/legalnews/28517/> (дата обращения: 07.10.2025).

9. Bhutani S., Alian A., Fletcher R. R. [et al.]. Vital signs-based healthcare kiosks for screening chronic and infectious diseases: a systematic review // Commun Med. 2025. № 5. С. 28. doi: 10.1038/s43856-025-00738-5

10. Лазарев А. В., Калининская А. А. Цифровое здравоохранение и цифровые двойники как его составляющие (систематический обзор) // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2024. № 32 (3). С. 318–324. doi: 10.32687/0869-866X-2024-32-3-318-324

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Вадим Владимирович Мацкевич

*Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

matskevich1997@gmail.com

Аннотация. Предложен алгоритм повышения качества начального приближения без обучения нейронной сети путем преобразования ее параметров. Теоретически показано, что при решении прикладных задач он не требует больших вычислительных ресурсов. Экспериментально подтверждено, что данный алгоритм позволяет повысить качество начального решения в среднем на 30 %, а также ускорить процесс обучения нейронной сети.

Ключевые слова: нейронные сети, обучение, начальное решение, динамическое программирование, оптимизация

ON THE EFFICIENCY OF TRAINING NEURAL NETWORKS

Vadim V. Matskevich

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

matskevich1997@gmail.com

Abstract. An algorithm for improving the initial approximation quality without training the neural network by transforming its parameters is proposed. It has been theoretically shown to be computationally inexpensive when solving applied problems. Experimental evidence has confirmed that this algorithm improves the initial solution quality by an average of 30 % and accelerates neural network training.

Keywords: neural networks, training, initial solution, dynamic programming, optimization

Нейронные сети применяются для решения широкого класса прикладных задач, большую часть которых составляют задачи классификации [1]. При решении задач классификации входные данные обладают большой размерностью. Для решения данной проблемы применяются глубокие нейронные сети с большим

количеством сжимающих слоев [2, 3]. В конце глубокой нейронной сети расположен классификатор – многослойный персептрон. Большое количество исследований проводится по изучению процесса обучения сжимающих слоев [4]. Однако малое количество исследований проводится по построению начального приближения для многослойного персептрона. Однако «плохое» начальное приближение может привести к низкому качеству решения, что потребует повторной инициализации и обучения. Обучение требует большого объема вычислительных ресурсов и времени, повышающих затраты на разработку систем на основе нейронных сетей. Для решения данной проблемы в работе предлагается алгоритм улучшения начального приближения на основе динамического программирования и преобразования сети, не требующий больших вычислительных ресурсов при решении прикладных задач.

Пространство решений

Перед рассмотрением начального приближения, необходимо изучить задачу обучения нейронных сетей, которая является оптимизационной задачей. У любой оптимизационной задачи есть пространство решений. Любое начальное решение является точкой в этом пространстве. Отметим ряд важных свойств пространства решений.

Определение. Многослойный персептрон, автоэнкодер или ограниченная машина Больцмана имеют оптимальную архитектуру, если не существует нейронов в скрытых слоях с одинаковыми наборами значений весов.

Теорема 1. (О множественности многослойного персептрона). Любой многослойный персептрон оптимальной архитектуры имеющий n нейронов в последнем скрытом слое имеет как минимум $n!$ оптимальных значений параметров.

Данная теорема легко доказывается через введения преобразования сети – перестановку нейронов скрытого слоя со всеми связанными с ними весами.

Замечание. Данная теорема не учитывает случай двух и более скрытых слоев, они также допускают перестановки нейронов в рамках слоя без потери оптимальности решения, что может существенно увеличить представленную в теореме оценку.

Требование оптимальности к архитектуре многослойного персептрона на практике никак не ограничивает общий случай.

Следствие из теоремы 1. Любой автоэнкодер или ограниченная машина Больцмана оптимальной архитектуры с n нейронами в скрытом слое имеет как минимум $n!$ оптимальных значений параметров.

Единственное отличие от теоремы про многослойный персептрон заключается в том, что перестановка нейронов скрытого слоя изменяет результат сжатия нейронной сетью что может потребовать перестройку последующих после сжатия обработчиков.

Замечание. Если многослойный персептрон спроектирован на основе относительности выходных значений нейронов выходного слоя, например, выбирается нейрон с наибольшим выходным значением в качестве результата, то оптимальных решений и вовсе бесконечно много.

Алгоритм улучшения начального решения

Воспользуемся принципом доказательства данной теоремы для уменьшения указанного расстояния с большой долей вероятности. Улучшенную генерацию начального решения можно описать в виде следующих этапов:

Этап 1. Генерация случайного решения. На данном этапе генерируется любое случайное решение без каких-либо ограничений кроме корректности решения.

Этап 2. Оценка качества полученного решения на обучающей выборке. Построенную сеть применяем для распознавания объектов обучающей выборки. На данном этапе вычисляется сколько раз для какого класса срабатывал каждый нейрон выходного слоя (многомерная матрица соответствий).

Этап 3. На основе полученной квадратной матрицы соответствий, нейроны выходного слоя со всеми связанными с ними параметрами перестанавливаются для достижения наибольшей обобщающей способности в рамках обучающей выборки.

Первые два этапа являются тривиальными и не требуют дополнительных комментариев. Третий же этап является глубоко не тривиальной задачей, решение которой будет описано ниже.

Этап 3 можно реализовать в виде полного перебора всех комбинаций выходных нейронов и классов. Так как все конфигурации можно вычислять независимо друг от друга, то в таком случае объем последовательных вычислений q_1 для n классов составит $O(n!/n/p)$, где p – количество ядер процессора.

Попробуем применить динамическое программирование по битмаскам. Для этого необходимо определить состояния и переходы, начальное решение, а также разработать алгоритм восстановления ответа. Восстановление ответа рассмотрим чуть позже, т.к. оно, как правило, в 5 раз проще, чем само решение задачи.

Пусть задана квадратная многомерная матрица соответствий $n \times n$ [5], где a_{ij} – количество раз, когда i -ый класс был выбран j нейроном выходного слоя. Необходимо выбрать такую конфигурацию, чтобы суммарно по всем классам выбранные ими нейроны соответствовали максимально возможное число раз.

Введем также битмаску длины n . Значение i -ого бита маски равно единице, если этот класс уже был распределен некоторому нейрону выходного слоя, в противном случае значение бита равно нулю. Таким образом получаем 2^n возможных значений битмаски. Введем массив $dp[mask]$ размером 2^n . Для каждого значения маски он будет хранить значение оптимального решения для заданной битмаски. Также введем два дополнительных массива: $dp2[mask]$ – который уже будет для указанной маски хранить маску использованных для оптимального распределения нейронов. Значения битов этой маски задаются таким же образом, как и для битмаски для классов. Второй дополнительный массив $p[mask]$ будет хранить значение маски из которой была получена оптимальная конфигурация для текущей маски.

Очевидно, что $dp[0] = 0$, т.к. ни один класс не распределен, а значит суммарное количество соответствий нейронов к классам нулевое.

Алгоритм реализован в виде четырех вложенных циклов:

- цикл 1 увеличивает количество единичных битов в маске по возрастанию от 1 до n ;
- цикл 2 перебирает все битмаски с указанным количеством единичных битов;
- цикл 3 перебирает все классы i от 0 до $n-1$ у которых соответствующий бит в маске равен 1;
- цикл 4 перебирает все нейроны выходного слоя j от 0 до $n-1$ для назначения его рассматриваемого третьим циклом класса.

Код на языке C++:

```
if((dp2[mask^(1<<i)]&(1<<j)) == 0) {if(dp[mask] < dp[mask^(1<<i)] + a[i][j]) {
```

$$\begin{aligned} dp[mask] &= dp[mask \wedge (1 \ll i)] + a[i][j]; \\ dp2[mask] &= dp2[mask \wedge (1 \ll i)] \mid (1 \ll j); \\ p[mask] &= (mask \wedge (1 \ll i)); \} \end{aligned}$$

где « \wedge » – побитовая операция исключающее или, « $1 \ll x$ » – вычисление числа 2^x , « \mid » – побитовое или, « $\&$ » – побитовое и.

Иными словами, максимум выбирается только из корректных конфигураций, т.е. «не занятых» предыдущей конфигурацией нейронов.

Очевидно, что ответ будет храниться в значении $dp[2^n - 1]$, когда задействованы все нейроны. Он будет указывать наибольшее количество верных классификаций нейронной сети на заданной обучающей выборке.

Теперь рассмотрим алгоритм восстановления ответа. Для этого достаточно запустить алгоритм в обратную сторону – от ответа к начальному состоянию.

Пусть текущая маска ($mask$) равна $2^n - 1$. Циклически уменьшаем ее до тех пор, пока она не станет нулевой, т.е. когда ни один класс не распределен.

В теле цикла будут следующие вычисления:

- 1) единичный бит в маске $mask \wedge p[mask]$ вычисляет значение i ;
- 2) единичный бит в маске $dp2[mask] \wedge dp2[mask \wedge (1 \ll i)]$ вычисляет значение j ;
- 3) после определения, что i -ый класс был назначен на j -ый нейрон, необходимо перейти к следующей маске: $mask = p[mask]$.

Теперь рассмотрим вопрос распараллеливания и определения вычислительной сложности алгоритма. Битмаски классов с равным количеством единиц независимы друг от друга, и, следовательно, могут быть обработаны параллельно.

Таким образом объем последовательных вычислений q_2 составит $O(2^n n^2 / p)$.

Для восстановления ответа потребуется n^2 вычислений, т.к. для каждого класса нужно перебрать n возможных позиций вставки, а для каждой из n масок нужно перебрать n классов для восстановления ответа.

Важно отметить, что классический полный перебор требует $O(n)$ дополнительной памяти, а представленный алгоритм требует $O(2^n)$ дополнительной памяти (в конкретной реализации потребовалось $4 * 2^n$ памяти).

Очевидно, что описанный алгоритм гораздо быстрее полного перебора.

Обоснование алгоритма

Теперь покажем, что представленный алгоритм гарантирует получение оптимального решения, как и полный перебор.

Утверждение 1. Алгоритм на основе динамического программирования по битмаскам гарантирует получение оптимального решения.

Разработанный алгоритм дает возможность повысить обобщающую способность нейронной сети без ее обучения, не требуя при этом большого объема вычислений. Это с большой долей вероятности сокращает Евклидово расстояние до оптимального решения, и, следовательно, алгоритму обучения потребуется меньшее число итераций для получения конечного решения, что может привести к существенной экономии вычислительных ресурсов или повышению качества решения при сохранении времени обучения.

Теперь построим точную теоретическую оценку эффективности данного алгоритма. Для этого рассмотрим стандартную задачу классификации. Пусть всего в задаче существует n классов входных данных при этом для каждого класса ровно s экземпляров в обучающей выборке (это стандартная ситуация для обучающих выборок). В таком случае, если выбирать класс случайным образом получим в среднем ровно s правильных ответов, т.е. $1/n$ верных классификаций от общего количества данных. Для точной теоретической оценки верно следующее.

Утверждение 2. Алгоритм на основе динамического программирования по битмаскам гарантирует что качество начального решения всегда не хуже случайного выбора класса, т.е. не менее $1/n$.

Замечание 1. К сожалению, данная оценка является неулучшаемой, т.к. если нейронная сеть изначально дает всегда одинаковый ответ, то оптимальная конфигурация даст ровно s правильных ответов, что является худшим случаем.

Замечание 2. Даже если исходное начальное приближение дает более чем s правильных ответов, т.е. случайный выбор, то представленный алгоритм может улучшить и это начальное приближение.

Эксперименты

Проверим эффективность алгоритма генерации начального решения путем эмуляции входных данных с различным количеством возможных классов. Распределение входных данных задается реализациями равномерно распределенных случайных величин на отрезке от нуля до тысячи. Проверяться будет три параметра – объем расходуемой памяти, время вычислений, прирост качества решения по сравнению с тривиальной конфигурацией нейронов. В экспериментах использовалась распараллеленная версия алгоритма этапа 3. Эксперименты проводились на компьютере с 32GB DDR5 6000 MHz оперативной памятью, процессором amd ryzen 7 7700 на системе Arch Linux (см. табл. 1)

Таблица 1

Эффективность алгоритма улучшения приближения

Количество классов	Объем памяти, ГБ	Время работы, с	Прирост качества, %
10	0	0,0003	85
27	4,14	7,3	85
29	16,4	33	85

Важно отметить, что для «классического» варианта с 10 классами прирост качества решения от раза к разу варьировался от +30 % до +145 %. В то время как для 27 классов разброс сократился до диапазона от +70 % до +100 %. Т.е. по мере увеличения количества классов дисперсия прироста существенно сокращается. Однако средний прирост качества составил 85 %. То есть качество начального решения в среднем почти удвоилось от применения данного алгоритма.

Рассмотрим эффективность предложенного алгоритма при использовании реальных входных данных. Пусть задана выборка CIFAR-10 с 50000 цветными изображениями по 5000 изображений на каждый из 10 классов объектов [6]. Запустим указанный алгоритм на многослойном персептроне значения параметров которого были заданы случайным образом. Многослойный персептрон имеет следующую архитектуру. Один скрытый слой из 32 нейронов с биполярной сигмоидой в качестве функции активации, а выходной слой состоит из 10 нейронов с функцией активации softmax. Нейронная сеть реализована в рамках разработанного

ранее фреймворка для глубоких нейронных сетей [7]. Выполним данный алгоритм 10 раз и исследуем прирост качества начального решения.

Прирост качества от запуска к запуску варьируется от около-нулевого прироста до более чем удвоения качества. Однако в среднем прирост варьируется от +10,4 % до +56,5 %. Средний прирост составил +30,1 %.

Отдельно стоит отметить, что данный алгоритм позволяет выявить проблемы с архитектурой многослойного персептрона и инициализацией его параметров. При выводе матрицы соответствий классов нейронам (*confuse matrix*) можно заметить «перекос» сети в сторону одного из нейронов, что свидетельствует о проблемах в архитектуре сети либо параметры случайной инициализации сети выставлены не подходящим для задачи образом.

Заключение

В статье рассмотрена проблема генерации начального решения в задаче обучения многослойного персептрона. Разработан алгоритм на основе динамического программирования и перестановки нейронов скрытого слоя для улучшения начального приближения. Доказана корректность предложенного алгоритма. Построена точная теоретическая оценка эффективности данного алгоритма. Экспериментально показано, что предложенный алгоритм позволяет повысить качество начального приближения в среднем на 30 %, что может избежать «плохих» начальных решений и ускорить процесс обучения.

Список литературы

1. Van Meegen A., Sompolinsky H. Coding schemes in neural networks learning classification tasks // *Nature Communications*. 2025. Vol. 16, iss. 1. doi: 10.1038/s41467-025-58276-6
2. Burçak K. C. An efficient deep convolutional network model using mask images for multiclass classification of breast cancer ultrasound images // *Neural Computing and Applications*, Springer. 2025. doi: 10.1007/s00521-025-11653-0
3. Lawrence M. O., Jimoh R. G., Yahya W. B. An efficient feature selection and classification system for microarray cancer data using genetic algorithm and deep belief networks // *Multimedia Tools and Applications*, Springer. 2025. Vol. 84, iss. 8. P. 4393–4434. doi: 10.1007/s11042-024-18802-y

4. Lan X., Zeng Y., Wei X. [et al.]. Counterclockwise block-by-block knowledge distillation for neural network compression // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, iss. 1. doi: 10.1038/s41598-025-91152-3

5. Heydarian M., Doyle T. E., Samavi R. MLCM: Multi-Label Confusion Matrix // *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 19083–19095. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3151048

6. CIFAR-10. URL: cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html (дата обращения: 04.03.2020).

7. Krasnoproshin V. V., Matskevich V. V. Neural network software technology trainable on the random search principles // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems*. 2023. Vol. 7. P. 133–140.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Екатерина Николаевна Манцурова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

katya_cherkashina2106@mail.ru

Аннотация. Все большее проникновение решений на основе искусственного интеллекта в различные сферы экономики делает актуальной проблему надежности таких систем и обеспечения доверия к результатам их работы. Продуктивность и результативность систем искусственного интеллекта зависят не только от выбранной архитектуры модели. Существенным также является качество данных, на основе которых такие системы обучаются и функционируют в дальнейшем. В связи с этим важную роль играет жизненный цикл данных – последовательность процессов, управляющих данными с момента их возникновения и до удаления. Каждый этап этого цикла является обязательным условием для создания практических, качественных и безопасных цифровых решений на базе искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровые решения, жизненный цикл данных, качество данных

DATA LIFECYCLE IN DIGITAL SOLUTIONS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Catherine N. Mantsurova

Penza State University, Penza, Russia

katya_cherkashina2106@mail.ru

Abstract. The increasing penetration of artificial intelligence-based solutions into various sectors of the economy raises the issues of the reliability of such systems and ensuring trust in their results. The productivity and performance of artificial intelligence systems depends not only on the chosen model architecture. The quality of the data on which these systems are trained and subsequently operate is also crucial. Therefore, the data lifecycle – the sequence of processes that manage data from its creation to its deletion – plays a crucial role. Each stage of this cycle is a prerequisite for the creation of practical, high-quality, and secure digital solutions based on artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, digital solutions, data lifecycle, data quality

Продуктов, созданных на базе искусственного интеллекта (ИИ), с каждым годом становится все больше, и популярность их продолжает расти. Но фундаментальная эффективность и надежность любого из этих решений напрямую зависит от качества данных, на которых он обучен и функционирует. Обеспечивать и поддерживать высокое качество данных на постоянной основе можно с помощью выстраивания целостного и непрерывного процесса – управления жизненным циклом данных. Этот цикл охватывает все этапы: от первоначального сбора, до обучения модели, постоянного мониторинга и возможного вывода системы из эксплуатации. Жизненный цикл данных является системообразующим элементом для любого успешного цифрового продукта [1], созданного на базе ИИ.

Жизненный цикл охватывает все этапы прохождения данных в системе ИИ. Главной его задачей является обеспечение достижения ключевых целей: высокое качество и безопасность данных, эффективное управление системой, максимальное получение практической пользы от функционирования системы. Данный эффект достигается за счет того, что вопросы обработки данных тщательно прорабатываются на каждом этапе цикла.

Стадии жизненного цикла конкретного массива данных зависят от множества факторов, но наиболее полно жизненный цикл данных в цифровых решениях на основе ИИ представляется последовательностью десяти стадий [2]:

1. На стадии замысла формулируются потребности в решении на основе ИИ (экономические, технические, стратегические, рыночные, нормативно-правовые и др.), и требования к новой или модернизируемой системе ИИ.

2. Формирование деловых требований – принятие решения о целесообразности превращения замысла в функционирующую систему ИИ. Деловые требования включают определение намерений проекта, доступности используемых активов, определяется спецификация требований к данным, исходя из целей и потребностей конечных пользователей системы. Выявляются факторы, влияющие на реализацию проекта: имеющиеся компетенции и знания, организационная структура, технологии и доступные ресурсы. Требования включают обеспечение соответствия проекта правилам, этике и культуре организации, а также государственным нормативам.

3. При планировании работ с данными определяется перечень конкретных наборов данных, необходимых для достижения поставленных целей проекта. Выполняется комплексный анализ доступности данных (существуют ли они внутри компании, требуется ли их сбор, приобретение или создание) и их характеристик (тип, структура, объем и т.д.). Оцениваются юридические (лицензирование, соответствие нормам) и технические аспекты (безопасность, хранение и устойчивость). Ключевой задачей этапа является гарантия того, что проектируемая система ИИ будет обеспечена качественными и достоверными данными, что является обязательным условием ее успешной реализации.

4. Комплектование наборов данных связано с созданием и/или обеспечением доступа к выбранным данным. Они могут быть получены из внутренних источников, от третьих лиц или извлечены из открытых ресурсов, представленных в различных формах (например, статические данные, потоковые данные, данные интернета вещей в реальном времени) и форматах (например, XML, текст с разделителями, бинарный формат). При этом данные могут быть структурированными, полуструктурированными или неструктурированными. Процесс комплектования должен соответствовать передовым практикам управления данными, гарантируя их безопасность, защиту персональной информации и качество, а также при необходимости регулироваться соответствующими соглашениями, договорами или лицензиями.

5. Подготовка наборов данных заключается в обработке собранных данных, включающей следующие операции: расшифровку, очистку (валидацию, дедупликацию, обработку пропусков), инженерию признаков, нормализацию, организацию структуры, разметку, обогащение контекстом, обезличивание, балансировку выборок, кодирование, верификацию целостности и документирование происхождения данных. Целью стадии является преобразование сырых данных в качественный набор, подходящий для эффективного обучения моделей ИИ.

6. Построения модели ИИ включает процесс организации данных и выбора метода создания модели, которая может быть либо статичной, либо постоянно обновляемой. Модель формируется путем машинного обучения с использованием обучающих данных (например, деревья решений, нейронные сети и т.д.), или на основе объединения инженерно-технических знаний. При этом

данные используются для обучения, калибровки и проверки модели на соответствие требованиям, включая оценку этических аспектов, предвзятости, безопасности и эффективности для практического применения заинтересованными сторонами.

7. Развертывание системы ИИ состоит из ряда процессов по запуску системы в целевой среде. При этом осуществляется проверка корректности работы потока данных и интеграция с существующими или новыми системами, что обеспечивает штатное функционирование системы.

8. Эксплуатация системы ИИ заключается генерации выходных данных из входных по модели ИИ и в возможности дополнительного обучения модели на обогащенных данных. При этом входные данные должны соответствовать установленным требованиям, а выходные могут дополнительно обрабатываться (анализироваться, визуализироваться, передаваться, храниться и т.д.). На протяжении всей эксплуатации осуществляются мониторинг качества данных и соответствие системы заявленным целям, а при необходимости проводится ее дополнительное обучение и валидация для поддержания производительности.

9. Вывод данных из эксплуатации предусматривает, что данные, больше не используемые системой ИИ, безопасно удаляются, архивируются или перепрофилируются. При этом часть данных (например, логи аудита) сохраняется для контроля соответствия, а конфиденциальная информация, включая персональные данные, подлежит обязательному удалению в соответствии с законодательством, лицензионными соглашениями или требованиями безопасности. Модель ИИ также может быть снята с эксплуатации, если в ней сохранились следы обучающих данных.

10. Завершение жизненного цикла данных предполагает вывод системы ИИ из эксплуатации с прекращением обработки данных и утилизацией аппаратно-программных компонентов. Данные, не связанные с моделью ИИ (например, системные журналы), подлежат сохранению для дальнейшего аудита или безопасного удаления (при необходимости).

Таким образом, успешная реализация систем на основе ИИ, существенно зависит от сложности алгоритмов и качества данных, используемых для обучения и функционирования систем. При этом жизненный цикл данных служит фундаментальной основой для управления данными, а его соблюдение обеспечивает

системный подход и гарантирует высокое качество данных, их безопасность, надежность, эффективность и практическую пользу от использования систем с ИИ.

Список литературы

1. Казаков Г. В. Применение искусственного интеллекта в жизненном цикле автоматизированной системы подготовки данных управления летательными аппаратами // Вестник Тверского государственного технического университета. Сер.: Технические науки. 2025. № 1 (25). С. 65–76. doi: 10.46573/2658-5030-2025-1-65-76

2. ГОСТ Р 70889–2023. Информационные технологии. Искусственный интеллект. Структура жизненного цикла данных. М. : Российский институт стандартизации, 2023. 11 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ

Дмитрий Сергеевич Никулин¹, Василий Васильевич Пикулин²

*^{1,2}Пензенский государственный технологический университет,
г. Пенза, Россия*

¹nikulin1997.05@mail.ru

²vapikulin@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается актуальность использования технологий машинного обучения (нейронных сетей) для гипотетической генерации сетевых пакетов вредоносного трафика при осуществлении DDoS-атак.

Ключевые слова: нейронная сеть, сетевой пакет, сетевые атаки, DDoS, генерация пакетов

THE POSSIBILITIES OF USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES TO GENERATE NETWORK PACKETS

Dmitry S. Nikulin¹, Vasily V. Pikulin²

^{1,2}Penza State Technological University, Penza, Russia

¹nikulin1997.05@mail.ru

²vapikulin@yandex.ru

Abstract. The relevance of using machine learning technologies (neural networks) for the hypothetical generation of network packets of malicious traffic during DDoS attacks is considered.

Keywords: neural network, network packet, network attacks, DdoS, packet generation

Атаки злоумышленников на информационную инфраструктуру являются актуальной проблемой для информационных сетей и систем. Наиболее актуальными на текущий момент являются: программы-вымогатели, фальшивые рассылки, DDoS-атаки, перехват конфиденциальных данных учетных записей, атаки на публичные сервисы, атаки на облачную инфраструктуру [1].

Одной из актуальных проблем информационной безопасности является использование технологий машинного обучения (в частности, нейронных сетей) в противоправных действиях. По данным портала [2], по состоянию на осень 2025 года наиболее активно нейронные сети применяются в следующих сценариях информационных атак:

1. Шпионаж и анализ. Нейронная сеть анализирует большие диапазоны доступных злоумышленнику *ip*-адресов, создает выборку наиболее уязвимых образцов по ряду параметров и делает вывод, где вероятность успешной атаки выше. Также, нейронные сети помогают разграничить потенциальных жертв по отраслям деятельности и используемым ими сетевым технологиям.

2. Проникновение. После того, как у атакующих оказывается доступ к сегменту сети или узлу, нейросеть способна анализировать, какие системы являются наименее защищенными и помогает злоумышленникам получить данные учётных записей пользователей для последующего несанкционированного проникновения.

3. Маскировка вредоносных программ (обфускация). Нейронные сети помогают маскировать известные вредоносные инструменты для обхода антивирусного программного обеспечения (ПО), а также могут использоваться как инструмент поддержки при создании и оптимизации вредоносного кода.

4. Анализ данных. Нейронные сети не только помогают незаконно извлечь конфиденциальные данные, но также ускоряют их анализ и систематизацию полученных сведений. Автоматизация процессов позволяет злоумышленникам одновременно атаковать или анализировать сразу несколько потенциальных целей атаки.

Как показано выше, *DDoS*-атаки («отказ-в-обслуживании», перегрузка атакуемого узла запросами или сетевыми пакетами до отказа оборудования или перегрузки канала связи) продолжают оставаться в настоящее время актуальной угрозой для информационных систем. Пересылка множества пакетов с данными на выбранный узел является достаточно простой процедурой, которая может инициироваться буквально парой команд в популярных операционных системах. Например, команда консоли *Windows* «*ping 247.43.116.110 -l 1500*» отправит на указанный *ip*-адрес 4 пакета размером 1500 байт (максимум 65500 байт). Это может

существенно помочь при стресс-тестировании производительности локальной сети. Профессионалы используют специальное программное обеспечение для проверки защищенности сети и ее восприимчивости к *DDoS*, например, российское ПО «10-Страйк Мониторинг Сети». Злоумышленники, в свою очередь, либо используют несанкционированные версии этих инструментов, либо модифицируют их для своих целей, например, *L.O.I.C.*, *H.O.I.C.*

Потенциально, нейронная сеть может служить достаточно эффективным инструментом при генерации сетевых пакетов *DDoS*-атак. К примеру, программное обеспечение на основе нейронной сети, сканируя указанный объект, может определять доступные порты и возможную уязвимость к определенным сетевым пакетам *DDoS*, а также непосредственно участвовать в генерации пакетов, определяя их тип, размер и наиболее эффективные параметры атаки. Такие свойства нейронных сетей, как: высокая скорость обработки данных, возможности анализа данных, адаптация к изменениям получаемых данных, могут быть крайне полезными в данной нелегальной области.

Цель данной статьи – анализ возможностей применения нейронных сетей при генерации вредоносных пакетов в рамках *DDoS*-атак с актуальными примерами возможности такого использования. Для этого решается следующая последовательность задач:

1. Анализ правил генерации сетевых пакетов.
2. Анализ возможностей генерации сетевых пакетов нейронными сетями.
3. Формулирование выводов.

Генерация сетевых пакетов. Рассмотрим термин «пакет» и особенности генерации сетевых пакетов для передачи данных.

Пакет – специфически оформленный блок данных, передаваемый по сети в пакетном режиме. При передаче данные файла любого типа разбиваются на сетевые пакеты, собираемые заново на принимающем узле. Стандартный TCP-пакет состоит из двух основных элементов: управляющей информации (адрес отправителя/получателя, контрольная сумма, очередь передачи) и непосредственно передаваемых сведений. Пакеты могут быть подвергнуты автоматической фрагментации при превышении допустимого объема. При поступлении пакетов на узел-получатель выполняются обратный процесс их объединения. Существуют телекоммуника-

ционные сети, не поддерживающие пакетный режим (например, «точка-точка») [3]. Осуществление передачи пакетов регламентируется сетевыми протоколами, в соответствии с моделью OSI.

Генерация пакетов – процесс создания и передачи данных в виде пакетов (структурированных сегментов файлов). Для генерации пакетов используются различные подходы и математические методики. Так, для назначения интервала времени между моментами отправления пакетов могут использоваться различные законы распределения случайных величин: равномерное, экспоненциальное, Эрланга и другие; при этом наибольшая производительность канала наблюдается при распределении Эрланга [4]. Всегда важно учитывать, что временной промежуток между моментами отправления пакетов должен быть больше времени передачи пакета, во избежание коллизий и утечек.

Для генерации трафика сетевых пакетов часто применяются [5]:

1. Классическая модель Пуассона, в которой передаваемые данные рассматриваются как независимая случайная величина, экспоненциально зависящая от времени сеанса. Модель простая, но не отражает неравномерную длину пакетов.

2. *ON/OFF*-модель. Трафик представляет собой прерывающийся пуассоновский процесс, учитывает периоды неактивного состояния системы (когда пакеты не передаются).

3. Модель Пуассона, модулированная Марковским процессом, позволяет учитывать не только неактивное состояние системы, но и число активных на данный момент пользователей.

4. Стандартизированные модели для беспроводных пакетных сетей, например, модель *WMAN* (*Wireless MAN*) и модель *3GPP2* учитывают детали работы протоколов (*HTTP*, *FTP*, *TCP*).

Подобные подходы реализуются в различных программных и аппаратных средствах, применяемых для генерации пакетов. Генерация пакетов осуществляется специализированным программным обеспечением – генератором пакетов. Генератор пакетов – компьютерная программа, генерирующая случайные пакеты или позволяющая пользователю сформировать и отправить в компьютерную сеть произвольный сетевой пакет. В зависимости от среды сети и операционной системы генераторы используют *RAW*-сокеты, вызовы функций *NDIS* или прямой доступ к драйверу сетевого адаптера в режиме ядра.

Генерация сетевых пакетов нейронными сетями. Нейронные сети в настоящее время не генерируют сетевые пакеты напрямую, но используются чаще всего для анализа и классификации сетевого трафика. Это метод глубокого машинного обучения, который позволяет обрабатывать большие объёмы данных и выявлять закономерности. Цель – определить, к какому классу относится новый трафик, например: на основе данных о протоколе, источнике и назначении, длине пакета и других признаках [4].

Несмотря на то, что в данный момент при анализе открытых источников не выявлено несанкционированных нейронных сетей, способных генерировать сетевые пакеты в рамках *DDoS*-атаки, тем не менее можно прогнозировать интерес применения машинного обучения в данной области. Злоумышленники создают нейронные сети, которые анализируют поведение систем защиты (в том числе, на основе нейронных сетей). В последнее время, компании устанавливают специальные системы защиты – *Intrusion Detection System (IDS)*, которые фильтруют пакеты на входе крупных серверов. Для защиты используются нейросети, которые обучены отделять мусорные пакеты трафика. Но хакеры используют собственные нейросетевые модели, которые оперативно учатся обманывать системы *IDS*, и генерируют мусорные пакеты, которые система защиты воспринимает как рабочие [6]. Нейросети злоумышленников анализируют и выделяют пакеты трафика, которые защитные системы идентифицируют, как допустимые, и оперативно создают возможные аналоги данных пакетов, забирающие пропускную способность сетей.

Многие типы вредоносных программ для реализации *DDoS* отличает предсказуемость трафика и генерация пакетов конкретного типа (*TCP, ICMP*), благодаря чему атаку легко идентифицировать и предотвратить. Профессионал в области безопасности информационных технологий Барри Штейман (*Barry Shteiman*) отмечает примитивность работы многочисленных инструментов для *DDoS*-атак. Создаваемый ими трафик состоит из потока *TCP/SYN*-запросов или других предсказуемых пакетов, так что его легко отфильтровать. Для решения данной проблемы, специалист написал (исключительно в образовательных целях) скрипт *HULK (HTTP Unbearable Load King)* [7]. *HULK* генерирует поток уникальных запросов, не имеющих выраженного паттерна, так что против него сложно построить эффективную защиту. Большой

поток уникальных запросов максимально потребляет ресурсы веб-сервера. Чтобы усложнить задачу по фильтрации потока, *HULK* для каждого запроса подставляет разные *user agent* (текстовая часть запроса, которую веб-приложения используют для сообщения сайту информации о себе), обфусцирует (процесс изменения кода программы, в результате которого он приобретает трудный для понимания формат) код *referrer* (один из заголовков запроса клиента, содержащий *URL* источника запроса), использует в запросах атрибут *keep-alive* (запрос на поддержку соединения в открытом состоянии), а также уникальные *URL*. Важно заметить, что при создании данного оригинального скрипта не использовались нейросетевые инструменты, которые в теории, могли бы повысить эффективность скрипта.

Статья специалиста информационной безопасности Бенджамина Флеша (*Benjamin Flesch*), поясняет [8], что всего один *HTTP*-запрос к *API ChatGPT* может использоваться для *DDoS*-атаки на целевой сайт. Когда *ChatGPT* ссылается на определенные сайты, он использует атрибуты со списком *URL*-адресов, по которым проходит краулер (программа анализа *web*-ресурсов) и собирает информацию. Если же передать *API* длинный список *URL*, немного отличающихся друг от друга, но указывающих на один и тот же ресурс, краулер начнет обращаться сразу ко всем, вызывая эффект *DDoS*-атаки.

Выводы. Анализ публикаций из открытых источников показал, что нейронные сети используются в основном при анализе сетевого трафика пакетов. Злоумышленники применяют их в рамках анализа данных, систематизации сведений или исследования уязвимых объектов атаки. Не было обнаружено информации о конкретном программном обеспечении на основе нейронных сетей, способном генерировать сетевые пакеты в рамках *DDoS*-атак, за исключением сведений о том, что специалисты компании *Citadel* [6] разработали алгоритмы *EAD* (определение наиболее оптимальных изменений в данных) и *TextAttack* (изменение данных пакетов, сохраняя при этом легальную управляющую информацию пакетов). Сгенерированные алгоритмами данные обходили нейросетевую защиту для обнаружения *DDoS*-атак с усилением *DNS* в 100 % (*EAD*) и 67,63 % (*TextAttack*) случаев соответственно. Таким образом, результаты эксперимента подчеркивают существенные

недостатки и уязвимости существующих методов обнаружения подобных атак, основанных на глубоком обучении.

На основе изложенного можно сделать вывод, что нейронные сети за счет быстроедействия, глубокого анализа данных и возможностей гибкой адаптации в ближайшем будущем будут активно применяться злоумышленниками для создания вредоносных программ, способных генерировать сетевые пакеты в рамках DDoS-атак, изменяя их структуру и адаптируясь к противодействию со стороны защитных систем.

Список литературы

1. Кибербезопасность в 2025 году: новые угрозы и как от них защититься // IT-компания «Потенциал». URL: <https://ptnl.moscow/articles/kiberbezopasnost-v-2025-godu-novye-ugrozy-i-kak-ot-nikh-zashchititsia> (дата обращения: 07.10.2025).

2. Вайб-хакинг: меняет ли искусственный интеллект ландшафт киберугроз // Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/mneniya/545699-vajb-haking-menaet-li-iskusstvennyj-intellekt-landsaft-kiberugroz> (дата обращения: 07.10.2025).

3. Малахов С. В., Якупов Д. О. Исследование стохастических моделей генерации пакетов в компьютерных сетях // Программные системы и вычислительные методы. 2024. № 2. С. 49–61.

4. Черниговский А. В., Кривов М. В., Истомин А. Л. Исследование и выбор математической модели сетевого трафика // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер.: Приборостроение. 2020. № 3. С. 84–96.

5. Денисенко В. В., Яценко А. С. Применение искусственного интеллекта для анализа сетевого трафика // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 1-1. С. 19–22.

6. Черные начинают и выигрывают. Хакерские нейросети пока сильнее, чем нейросети систем защиты // TechInsider. URL: <https://www.techinsider.ru/gadgets/news-1549851-chernye-nachinayut-i-vyigryvayut-hakerskie-neyroseti-poka-silnee-chem-neyroseti-sistem-zashchity/> (дата обращения: 08.10.2025).

7. Prolexic: DDoS-атаку с одного компьютера легко остановить // SecurityLab. URL: <https://www.securitylab.ru/news/560501.php> (дата обращения: 07.10.2025).

8. OpenAI: ChatGPT Crawler Vulnerability // GitHub. URL: <https://github.com/bf/security-advisories/blob/main/2025-01-ChatGPT-Crawler-Reflective-DDOS-Vulnerability.md> (дата обращения: 07.10.2025).

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АЛГОРИТМОВ

**Александр Андреевич Усатов¹,
Александр Михайлович Недзведь²,
Алексей Маратович Белоцерковский³**

*^{1,2}Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

*^{2,3}Объединенный институт проблем информатики Национальной
академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь*

¹alexander.usatoff@gmail.com

²anedzved@bsu.by

³Alex.belot@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются современные угрозы, связанные с намеренным искажением обучающих данных в системах компьютерного зрения. Показано, что атаки могут принимать форму адверсариального шума, искажения аннотаций или генеративного маскирования объектов. Предложен многомодульный конвейер детекции, основанный на анализе соответствия изображения и разметки, частотных характеристиках, реконструкции автоэнкодером и анализе границ.

Ключевые слова: искажение данных, адверсариальные атаки, искажение аннотаций, детекция аномалий, защита моделей, маскирование объектов, безопасность искусственного интеллекта

DATA CORRUPTION ANALYSIS FOR ALGORITHM TRAINING

**Alexander A. Usatov¹, Alexander M. Nedzved²,
Alexey M. Belotserkovsky³**

^{1,2}Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

*^{2,3}United Institute of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

¹alexander.usatoff@gmail.com

²anedzved@bsu.by

³Alex.belot@gmail.com

Abstract. This paper examines modern threats associated with intentional corruption of training data in computer vision systems. It is shown that attacks can

take the form of adversarial noise, annotation corruption, or generative object masking. A multi-module detection pipeline based on image-label correspondence analysis, frequency characteristics, autoencoder reconstruction, and edge analysis is proposed.

Keywords: data corruption, adversarial attacks, annotation corruption, anomaly detection, model protection, object masking, artificial intelligence security

Современные системы компьютерного зрения достигли высокой точности в задачах классификации, обнаружения объектов, сегментации и распознавания лиц благодаря широкому применению глубоких нейронных сетей. Однако их успех напрямую зависит от качества и достоверности входных данных, что делает такие системы уязвимыми к целенаправленным атакам, направленным на модификацию изображений с целью нарушения корректной работы модели.

Особую опасность представляют три класса таких вмешательств: адверсариальные примеры, искусственно добавленный шум, маскирование объектов интереса.

Адверсариальные атаки генерируют едва различимые возмущения, способные изменить вывод модели [1]. Эти методы продемонстрировали свою эффективность как в цифровом, так и в физическом пространстве [2].

Несмотря на разнообразие подходов к защите, надёжная детекция подобных атак остаётся сложной задачей. В данной работе рассматриваются методы искажения обучающих данных и предлагается конвейер их детекции, применимый на этапе предобработки.

Искажение обучающих данных

Одним из наиболее прямолинейных, но эффективных способов подмены семантики данных является искажение bounding box'ов или масок сегментации. Вместо корректной разметки объекта аннотатор (или автоматизированная система) может намеренно сместить границы ограничивающего прямоугольника, сузить его, расширить за пределы объекта или даже назначить ложный класс.

В крайних случаях применяется "label flipping" с пространственным искажением: объект остаётся на изображении, но ему

приписывается другая метка, а его аннотация искусственно деформируется. Исследования показывают, что даже 5–10 % заражённых примеров с искажённой разметкой могут снизить точность детектора YOLO или Faster R-CNN на 15–30 %.

Одним из прямых способов подмены семантики является искажение геометрической разметки или масок сегментации. Например, при последовательном смещении разметки модель начинает ассоциировать фон с объектом, что снижает её обобщающую способность. Формально, если $(x_i, y_i^{ann}, m_i^{ann})$ – пример с искажённой аннотацией, а \hat{m}_i – предсказание экспертной модели, то несоответствие определяется как:

$$IoU(m_i^{ann}, \hat{m}_i) < \tau.$$

Это может служить индикатором атаки на данные.

Другим очень опасным изменением данных является состязательные или адверсариальные атаки. Результат такой атаки обучающего набора (adversarial training set poisoning) влияет на всю модель глобально. В этом случае к изображениям добавляются адверсариальные возмущения, сгенерированные с использованием алгоритмов FGSM, PGD или их вариаций, при этом сохраняется корректная (или ложная) метка. Формально, для изображения x и целевой модели f_θ , злоумышленник генерирует заражённый образец:

$$x_{adv} = x + \delta, \text{ где } \|\delta\| \leq \varepsilon$$

причём δ выбирается так, чтобы максимизировать потери $L(f_\theta(x_{adv}), y)$, но оставаться незаметным человеку.

При включении таких образцов в обучающую выборку модель либо переобучается на шумовые паттерны, либо теряет устойчивость к малым возмущениям. Особенно критичны случаи, когда шум структурирован и согласован по всему датасету – тогда он может действовать как триггер для backdoor-атак, активируя заданное поведение при наличии определённого патча. Эксперименты показывают, что даже слабые шумы (PSNR > 40 dB) могут существенно снизить точность модели, если они систематически присутствуют в обучающем наборе, нарушая естественное распределение данных.

С развитием генеративных моделей, таких как GANs и диффузионные сети, появились методы маскирования объектов

в обучающих данных. Вместо простого наложения стикера или затемнения, злоумышленник может сгенерировать адаптивную маску, которая не только скрывает часть объекта, но и подстраивается под текстуру и освещение сцены, делая маскировку визуально незаметной.

Генеративная модель G создаёт маску $m = G(x, z)$, где z – шумовой вектор, контролирующий форму и расположение. Маска проектируется так, чтобы максимизировать градиент шума в критических для классификации областях. Изображение модифицируется как $x_{masked} = x \odot (1 - m) + n \odot m$, где n – зашумлённый или синтетический патч.

Подобные методы были продемонстрированы в работах по *physical adversarial patches* [6] и *GAN-based cloaking*, где маскирование достигается путём оптимизации текстуры одежды или аксессуаров, делающих человека "невидимым" для детектора.

Детекция искажений

Для выявления аномалий в разметке может использоваться модель-эксперт. Уточнение разметки на модели-эксперте выполняется методом активных контуров (*snakes*), который итеративно деформирует начальную маску под заключенный в аннотации объект. Затем, проводится анализ содержимого внутри аннотированной области: оценивается однородность текстуры, распределение цвета, наличие ключевых признаков объекта. Несоответствие между семантикой класса и реальным содержанием (например, фон вместо объекта) позволяет выявить аномалии, недоступные чисто геометрическому анализу.

Для обнаружения адверсариального шума применяется ряд методов:

а) Частотный анализ: вейвлет-преобразование выявляет аномальную энергию в высокочастотных компонентах. Данный метод является наиболее универсальным, так как он основан на принципах функционального анализа, который позволяет определить устойчивость шумов.

б) *Reconstruction error*: автоэнкодер, обученный на чистых данных, плохо восстанавливает заражённые изображения.

в) *Feature Squeezing*: сравнение вывода модели до и после сжатия цвета/сглаживания, в данном методе присутствует возможность потери данных.

Детектирование сгенерированных фрагментов изображения основано на выявлении локальных аномалий в структуре шума и пространственных градиентах, возникающих на границах между реальной и синтезированной областью. Генеративные модели (например, GAN или диффузионные сети) не способны точно воспроизвести естественный фотоответ матрицы (PRNU – Photo Response Non-Uniformity), что приводит к разрыву статистической однородности шума на стыке оригинального и сгенерированного фрагментов. Этот эффект особенно заметен в областях с низкой текстурой, где шум становится доминирующим сигналом.

Анализ градиентов позволяет выявить границы на переходах от реального к сгенерированному содержимому, если наблюдается резкое изменение распределения направлений и величины градиентов, чрезмерная гладкость (при сглаживании), аномальные паттерны (артефакты сетки, «зубчатость») и др. Путём построения карты локальной однородности градиентов (например, через дисперсию в скользящем окне) можно локализовать подозрительные зоны. Комбинация анализа шумовой текстуры и градиентной согласованности обеспечивает высокую чувствительность к сгенерированным вставкам, даже при тщательном маскировании.

Заключение

Современные методы намеренного искажения обучающих данных в системах компьютерного зрения включают модификацию аннотаций, внедрение адверсариального шума и вставку сгенерированных фрагментов с использованием генеративных моделей. Такие атаки, будучи визуально малозаметными, могут существенно нарушить процесс обучения и привести к деградации производительности моделей в условиях реального применения. В качестве ответа на эти угрозы необходимо использовать фильтрацию данных с помощью эффективных методов детекции, основанных на анализе как геометрической согласованности разметки и шумов, так и на низкоуровневых признаках изображения.

Предложенная многомодульная стратегия детекции обеспечивает комплексный контроль целостности обучающих данных и может быть интегрирована в предобработочные конвейеры для повышения устойчивости моделей машинного обучения. Развитие таких методов является важным шагом на пути к построению доверенных и безопасных систем искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Кузнецов А. В., Смирнов П. Н. Обзор и систематизация атак уклонением на модели компьютерного зрения // Киберленинка. 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-sistematizatsiya-atak-ukloneniem-na-modeli-kompyuternogo-zreniya>
2. Печеный В. В., Пономарев А. А., Паюсова Т. И. Защита моделей компьютерного зрения от adversarial-атак // Математическое и информационное моделирование : материалы Всерос. конф. молодых ученых. Тюмень : ТюмГУ-Press, 2023. Вып. 21. С. 366–371.
3. Goodfellow I., Shlens J., Szegedy C. Explaining and Harnessing Adversarial Examples : arXiv preprint. 2015. URL: <https://arxiv.org/ads/1412.6572>
4. Biggio B., Roli F. Wild Patterns: Ten Years After the Rise of Adversarial Machine Learning // Pattern Recognition. 2018. Vol. 84. P. 317–331.
5. Akhtar N., Mian A. Threat of Adversarial Attacks on Deep Learning in Computer Vision: A Survey // IEEE Access. 2018. Vol. 6. P. 14410–14430.
6. Xie C., Wang J., Zhang Z., Ren Z., Yuille A. Mitigating Adversarial Effects Through Randomization // International Conference on Learning Representations (ICLR). 2018.

ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ДООБУЧЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

**Владимир Вячеславович Хрящев¹,
Александр Николаевич Ганин², Денис Борисович Волков³,
Александр Евгеньевич Назаровский⁴**

*^{1,2,3,4}Ярославский государственный университет
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

*^{1,4}Ярославский государственный медицинский университет,
г. Ярославль, Россия*

¹vhr@yandex.ru

^{2,3,4}dcslab@uniyar.ac.ru

Аннотация. Разработка систем поддержки принятия врачебных решений часто ограничивается необходимостью хранения больших архивов видеоданных и постоянного дообучения нейросетевых моделей. Особенно остро эта проблема стоит при эндоскопии желудочно-кишечного тракта, где работа с видеоданными сверхвысокого разрешения требует чрезвычайно дорогостоящей инфраструктуры. Таким образом, высокие объемы данных являются ключевым фактором, определяющим сложность и стоимость всего проекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, эндоскопия, видеоданные, инфраструктура обработки и хранения данных

FINE-TUNING INFRASTRUCTURE FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN MEDICAL APPLICATIONS

**Vladimir V. Khryashchev¹, Alexander N. Ganin²,
Denis B. Volkov³, Alexander E. Nazarovsky⁴**

^{1,2,3,4}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

^{1,4}Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

¹vhr@yandex.ru

^{2,3,4}dcslab@uniyar.ac.ru

Abstract. The development of medical decision support systems is often limited by the need to store large video data archives and continuously retrain

neural network models. This problem is particularly acute in gastrointestinal endoscopy, where working with ultra-high-resolution video data requires extremely expensive infrastructure. Thus, large data volumes are a key factor determining the complexity and cost of the entire project.

Keywords: artificial intelligence, endoscopy, videodata, data processing and storage infrastructure

Построение систем искусственного интеллекта (ИИ) для анализа медицинских изображений связано с рядом особенностей, отличающих эту задачу от аналогичных применений во многих других областях. Медицинские изображения (рентген, МРТ, КТ, эндоскопические видеоизображения, гистологические снимки и др.) обладают высокой сложностью для анализа и интерпретации и требуют детального изучения экспертами [1].

Сбор больших аннотированных наборов медицинских изображений (датасетов) усложнен ввиду целого ряда факторов: необходимостью защиты персональных данных, наличия редко встречающихся патологий (несбалансированность данных), высоких трудозатрат медицинского персонала на процессы сбора, валидации и разметки данных. Для решения проблемы сбора больших медицинских датасетов используются следующие подходы: трансферное обучение нейронных сетей, аугментация данных, генерация синтетических обучающих данных, которая на данном этапе вызывает серьезные этические сомнения у ведущих медицинских специалистов.

В процессе работы системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) накапливают данные в локальном или защищенном облачном хранилище данных. С определенной очередностью проводится дообучение их нейросетевых моделей на основе дополнительно накопленных верифицированных данных. Процесс дообучения представляет собой корректировку коэффициентов нейросетевой модели, что улучшает параметры работы систем с учетом накопленного опыта.

Ключевыми задачами при разработке СППВР являются организация хранения архивных видеозаписей и настройка процессов дообучения нейронных сетей. Особую сложность среди медицинских задач представляет эндоскопическая диагностика, где работа с большими объемами видео высокого разрешения требует создания дорогостоящей ИИ-инфраструктуры [2]. Собираемые данные используются в специализированных эндоскопических медико-информационных системах (ЭМИС).

Обучение нейросетевых моделей обычно требует значительных данных, что проблематично для отдельных медучреждений. Хотя централизованное обучение (рис. 1) решает эту проблему через объединение данных в дата-центрах, оно создает риски для конфиденциальности.

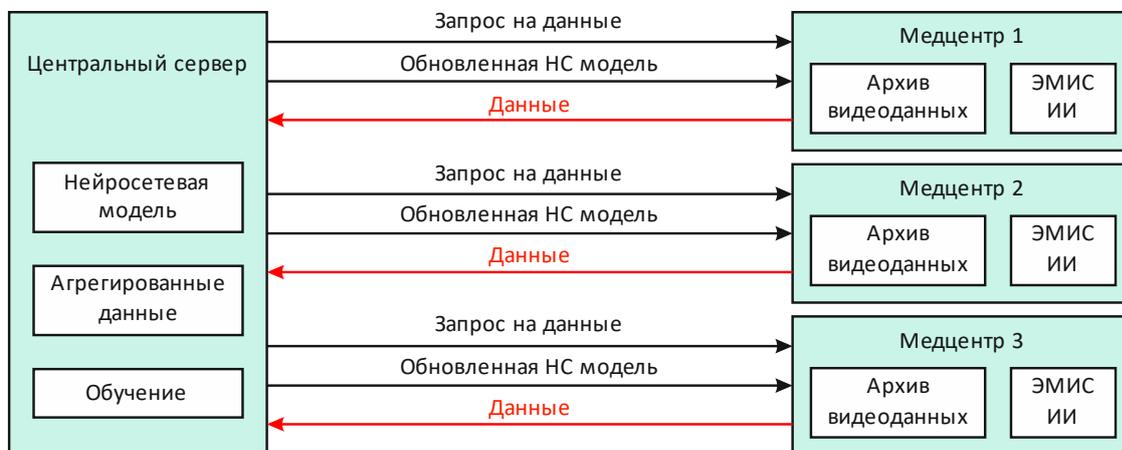


Рис. 1. Схема модели централизованного дообучения

Альтернативой выступает федеративное обучение (рис. 2), соответствующее ФЗ-152 «О персональных данных». При этом данные остаются у владельца, а на центральный сервер передаются только обновленные параметры модели. Это важно, например, если отдельный регион, ведомство или организация накопили большой массив медицинских данных, но не могут предоставить к нему доступ, так как данные очень чувствительные. Этот подход также эффективен для международных коллабораций с географически распределенными данными, а также для безопасного предоставления доступа к конфиденциальной информации [3–8].

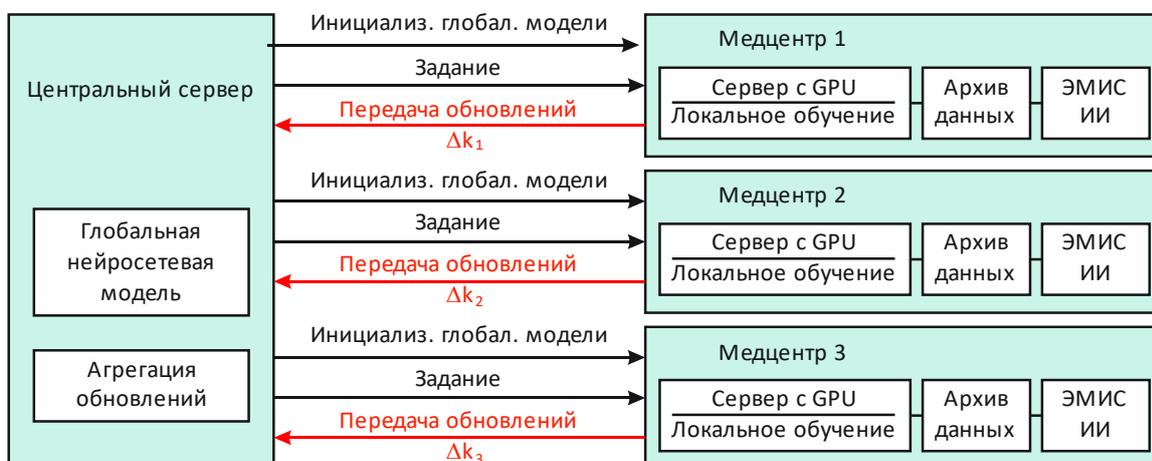


Рис. 2. Схема модели федеративного дообучения

Для российских медицинских центров была предложена гибридная модель [9], сочетающая преимущества обоих подходов (рис. 3):

- соответствие ФЗ-152 через обработку данных в российской юрисдикции;
- экономическую эффективность для малых медицинских учреждений;
- масштабируемость за счет вовлечения удаленных учреждений;
- возможность международного сотрудничества;
- баланс между конфиденциальностью и эффективностью обработки
- стандартизацию процессов предобработки и валидации

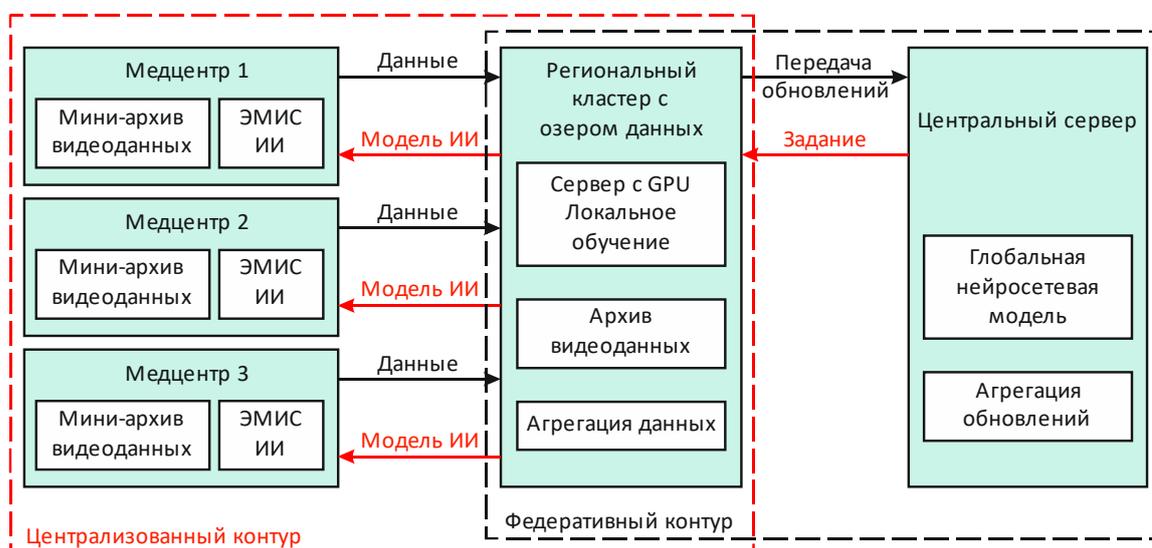


Рис. 3. Предлагаемая схема гибридной модели дообучения

Данный подход оптимизирует ресурсы, улучшает качество моделей и обеспечивает безопасность данных, что делает его перспективным для медицинских систем.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на осуществление научных исследований и разработок ФГБОУ ВО ЯГМУ Минздрава России на 2025 г. по теме «Система поддержки принятия врачебного решения при дифференцировке глубины инвазии новообразований толстой кишки на основе искусственного интеллекта» (№ 720000Ф.99.1.БН62АБ20000).

Список литературы

1. Карпов О. Э., Храмов А. Е. Информационные технологии, вычислительные системы и искусственный интеллект в медицине. М. : ДПК Пресс, 2022.
2. Палевская С. А., Короткевич А. Г. Эндоскопия желудочно-кишечного тракта. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 752 с.
3. Rieke N., Hancox J., Li W. [et al.]. The future of digital health with federated learning // Digital Medicine. 2020. Vol. 3 (1). Article number: 119. doi: 10.1038/s41746-020-00323-1
4. Federated Learning. URL: <https://www.ultralytics.com/ru/glossary/federated-learning>
5. Обучаем нейросети федеративным способом. URL: <https://yandex.cloud/ru/blog/posts/2024/10/ml-models-and-federated-learning>
6. Xie L., Cai W., Yan G. [et al.]. dFLMoE: decentralized federated learning via mixture of experts for medical data analysis. URL: <https://arxiv.org/abs/2503.10412v1>
7. Kirchner M. [et al.]. Federated EndoViT: Pretraining Vision Transformers via Federated Learning on Endoscopic Image Collections. URL: <https://arxiv.org/html/2504.16612v1>
8. Kassem H., Alapatt D., Mascagni P. [et al.]. Federated cycling (fedcy): Semi-supervised federated learning of surgical phases // IEEE Transactions on Medical Imaging. 2023. Vol. 42. P. 1920–1931.
9. Хрящев В. В. Система поддержки принятия врачебных решений на основе анализа эндоскопических видеоизображений с применением методов искусственного интеллекта : дис. ... д-ра тех. наук : 2.2.12. Ярославль, 2025. 326 с.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

УДК 004.45

ПОДХОДЫ К ГЕНЕРАЦИИ ПРОГРАММ БОЛЬШИМИ ЯЗЫКОВЫМИ МОДЕЛЯМИ

Даниил Вадимович Бородин¹,
Александр Викторович Пруцков²

*^{1,2}Липецкий государственный педагогический университет
имени П. П. Семенова-Тян-Шанского, г. Липецк, Россия*

*²Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В. Ф. Уткина, г. Рязань, Россия*

²mail@prutzkow.com

Аннотация. Генерация программного кода является одной из возможностей больших языковых моделей. Большие языковые модели становятся основным инструментом в области автоматической генерации программного кода. Проблемами использования больших языковых моделей являются ограничения в интерпретации сложных описаний, выбор метрик оценки, необходимость контроля человеком.

Ключевые слова: генерация программного кода, автоматизация разработки, большие языковые модели, reasoning-модели, мультиагентные системы

APPROACHES TO PROGRAM GENERATION BY LARGE LANGUAGE MODELS

Daniel V. Borodin¹, Alexander V. Prutzkow²

*^{1,2}Lipetsk State Pedagogical University named after
P. P. Semenov-Tyan-Shansky, Lipetsk, Russia*

*²Ryazan State Radio Engineering University named
after V. F. Utkin, Ryazan, Russia*

²mail@prutzkow.com

Abstract. Generating program code is one of the capabilities of large language models (LLMs). LLMs are becoming the primary tool in the field of

automatic program code generation. The challenges of using LLMs include limitations in interpreting complex descriptions, the choice of evaluation metrics, and the need for human participation.

Keywords: program code generation, development automation, large language models, reasoning models, multi-agent systems

Автоматическая генерация программного кода – это задача программной инженерии, направленная на повышение производительности разработчиков. Методы генерации программ классифицируются на пять типов [1]: шаблонные методы, генерация на основе моделей, методы поиска и эволюционные алгоритмы, композиционное программирование, методы на основе искусственного интеллекта.

С момента появления ChatGPT в ноябре 2022 г., методы на основе БЯМ стали преобладающими. БЯМ могут использоваться для генерации кода, написания документации, создания тестов [2]. Обзоры, посвященные генерации программ, [3–4] подчеркивают преимущества использования БЯМ для генерации кода. В [5] выделены три основных типа применения: генерация кода на основе описаний на естественном языке, дополнение фрагментов кода и автоматическое исправление ошибок. В исследованиях [6, 7] продемонстрирована зависимость от БЯМ в задачах разработки программного обеспечения. В [8] приведены наборы данных, используемые для оценки БЯМ для генерации кода. Существующие обзорные работы не учитывают технологические достижения 2025 г., включая развитие reasoning-моделей и мультиагентных архитектур, что делает обновлённый анализ актуальным.

Цель работы

Целью этого исследования является анализ литературы, опубликованной в период 2021–2025 гг., об использовании БЯМ для генерации кода. В исследовании обобщены существующие публикации, классификация методов, применяемых архитектур, метрик и анализ перспектив современных моделей.

Типы исследований

При выборе публикаций выявлены следующие типы.

1.1. Используемые языки программирования

Большинство исследований используют один из следующих языков программирования: Python [9, 10], Java [11] и C++ [12].

Такое распределение демонстрирует, что БЯМ лучше справляются с динамическими языками (Python), чем со строго типизированными (C++).

1.2. Метрики оценки производительности

В исследованиях применялись метрики для оценки производительности и качества сгенерированного кода: 1) метрики функциональной корректности: [13, 14]; 2) метрики сходства [15, 16]; 3) измерение цикломатической сложности [17, 18]; 4) временная и пространственная сложность [19, 20]. Наиболее распространенными метриками являются: Pass@k [21], HumaEval [22], BLEU [23], CodeBLEU [24], LOC [25]. Анализ метрик для оценки БЯМ при генерации кода показал, что ни одна метрика не является универсальной, требуется смешанный подход.

1.3. Reasoning-модели и агентные схемы

В 2025 г. особое внимание уделяется reasoning-моделям, которые используют механизмы рассуждения [26, 27]. Другим направлением развития стали агентные схемы [28, 29], в которых несколько моделей выполняют распределённые роли – генератор, критик и оптимизатор. Совмещение reasoning-моделей и агентных подходов формирует более точные ответы БЯМ.

1.4. Методы повышения производительности

Для повышения производительности и точности БЯМ применяются следующие методы: промптинг – управление поведением модели через оптимизированные текстовые инструкции [30, 31]; параметрическая настройка – метод обеспечивает дообучение без полного пересчёта всех параметров [32]; test-time scaling – масштабирование вычислений во время вывода модели [33, 34].

Заключение

Проведённый анализ показал, что БЯМ становятся основным инструментом в области автоматической генерации программного кода. Они объединяют возможности искусственного интеллекта и классических подходов программной инженерии. Тем не менее, БЯМ сталкиваются с рядом проблем – ограничениями в интерпретации сложных описаний, выбором метрик оценки, необходимостью контроля человеком. Развитие reasoning-моделей, агентных схем и методов оптимизации обучения открывает перспективы для повышения точности и надёжности создаваемых решений. Автоматическая генерация кода на основе БЯМ может стать основой следующего этапа развития программной инженерии, обеспечивая

переход от ручного программирования к интеллектуальному проектированию программных систем.

Список литературы

1. Borodin D., Prutzkow A. Program Generation Methods: Types and Instances // International Journal of Open Information Technologies. 2025. Vol. 7. P. 83–90.
2. Bistarelli S., Fiore M., Mercanti I., Mongiello M. Usage of Large Language Model for Code Generation Tasks: A Review // SN Computer Science. 2025. Vol. 6, № 6. P. 1–16.
3. Fan A. [et al.]. Large language models for software engineering: Survey and open problems // 2023 IEEE/ACM International Conference on Software Engineering: Future of Software Engineering (ICSE-FoSE). 2023. P. 31–53.
4. Chowdhury M.N.U.R., Haque A. ChatGPT: Its Applications and Limitations // 3rd International Conference on Intelligent Technologies. 2023.
5. Wang J., Chen Y. A Review on Code Generation with LLMs: Application and Evaluation // 1st IEEE International Conference on Medical Artificial Intelligence / Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2023. P. 284–289.
6. ScenEval: A benchmark for scenario-based evaluation of code generation // Proceedings of the 2024 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Testing (AITest). 2024. P. 55–63.
7. López Espejel J., Yahaya Alassan M. S., Chouham E. M. [et al.]. A comprehensive review of state-of-the-art methods for Java code generation from natural language text // Natural Language Processing Journal. 2023. № 3. P. 100013.
8. Lu Y., Sun C., Yan Y. [et al.]. A Comprehensive Survey of Datasets for Large Language Model Evaluation // Proceedings of the 5th Information Communication Technologies Conference (ICTC 2024). 2024. P. 330–336.
9. Levin K. H., Gwilt K., Berger D., Freund S. Effective LLM-Driven Code Generation with Pythoness : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2501.02138>
10. Ugare S., Suresh T., Kang H., Misailovic S., Singh G. SynCode: LLM generation with grammar augmentation // Transactions on Machine Learning Research. 2024.
11. Sadik A. R., Brulin S., Olhofer M. [et al.]. LLM as a code generator in Agile Model Driven Development // Proceedings of the International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development. Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. P. 198–212.

12. Yu Z., Zhang Y., Wen M. [et al.]. CXXCrafter: An LLM-Based Agent for Automated C/C++ Open Source Software Building // Proceedings of the ACM on Software Engineering. 2025. Vol. 2, № FSE. P. 2618–2640.
13. Das S., Ghosh M., Swami P., Ganguly D., Calikli G. In-Context Learning as an Effective Estimator of Functional Correctness of LLM-Generated Code // Proceedings of the 48th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. 2025. P. 2890–2894.
14. Chon H., Lee S., Yeo S., Lee D. Is functional correctness enough to evaluate code language models? Exploring diversity of generated codes : arXiv preprint. 2024. URL: <https://arxiv.org/html/2408.14504>.
15. Ghassemiazghandi M. An evaluation of ChatGPT's translation accuracy using BLEU score // Theory and Practice in Language Studies. 2024. Vol. 14, № 4. P. 985–994.
16. Tran N., Tran H., Nguyen S., Nguyen H., Nguyen T. Does BLEU score work for code migration? // Proceedings of the 27th IEEE/ACM International Conference on Program Comprehension (ICPC). 2019. P. 165–176.
17. Moell B., Boye J. Language complexity measurement as a noisy zero-shot proxy for evaluating LLM performance : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2502.11578>
18. Yang M., Feng A., Xiong B. [et al.]. Enhancing LLM complex reasoning capability through hyperbolic geometry // ICML 2024 Workshop on LLMs and Cognition. 2024.
19. Li W., Yao D., Zhao R., Chen W. [et al.]. STBench: Assessing the ability of large language models in spatio-temporal analysis // Companion Proceedings of the ACM on Web Conference 2025. 2025. P. 749–752.
20. Hettige K. H., Ji J., Long C. [et al.]. A Modular Multitask Reasoning Framework Integrating Spatio-temporal Models and LLMs : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2506.20073>
21. Chen M. [et al.]. Evaluating large language models trained on code : arXiv preprint. 2021. URL: <https://arxiv.org/html/2107.03374>
22. Niu Q. [et al.]. Large language models and cognitive science: A comprehensive review of similarities, differences, and challenges : arXiv preprint. 2024. URL: <https://arxiv.org/html/2409.02387>
23. Chang Y., Kim Y., Krumdick M. [et al.]. BLEUBERI: BLEU is a surprisingly effective reward for instruction following : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2505.11080>
24. Ren S., Guo D., Lu S. [et al.]. CodeBLEU: a method for automatic evaluation of code synthesis : arXiv preprint. 2020. URL: <https://arxiv.org/html/2009.10297>
25. Liu J. [et al.]. Evaluating language models for efficient code generation : arXiv preprint. 2024. URL: <https://arxiv.org/html/2408.06450>

26. Ding H. [et al.]. Reasoning and planning with large language models in code development // Proceedings of the 30th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2024. P. 6480–6490.
27. Liu J., Xie S., Wang J., Wei Y. [et al.]. Purpcode: Reasoning for safer code generation : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2507.19060>
28. Huang D., Zhang J., Luck M., Bu Q. [et al.]. AgentCoder: Multi-agent-based code generation with iterative testing and optimisation : arXiv preprint. 2023. URL: <https://arxiv.org/html/2312.13010>
29. Islam M. A., Ali M. E., Parvez M. R. CodeSim: Multi-agent code generation and problem solving through simulation-driven planning and debugging : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2502.05664>
30. Li J., Zhao Y., Li Y. [et al.]. An effective prompting technique specialized in code generation // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2024. Vol. 33, № 8. P. 1–26.
31. Li J., Li G., Li Y., Jin Z. Structured chain-of-thought prompting for code generation // ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. 2025. Vol. 34, № 2. P. 1–23.
32. Arora C. Sayeed A., Licorish S., Wang F., Treude C. Optimizing LLMs for Code Generation: Which Hyperparameter Settings Yield the Best Results? // Proceedings of the 31st Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC). 2024. P. 281–290.
33. Li D., Cao S., Cao C., Li X. [et al.]. S*: Test time scaling for code generation : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2502.14382>.
34. Ehrlich R., Brown B., Juravsky J., Clark R. [et al.]. CodeMonkeys: Scaling test-time compute for software engineering : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/html/2501.14723>

ПЕРЕХОД ОТ DOCX К DOCS-AS-CODE: ГЛУБИННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Олег Владимирович Перфильев¹, Иван Николаевич Корепин²

^{1,2}ООО «Открытые решения», г. Пенза, Россия

¹oleg_perfiliev@mail.ru

²ivan.korepin@osinit.com

Аннотация. Представлена реализованная архитектура технической документации как инженерного продукта на основе методологии Docs-as-Code. Экспериментально показано, что внедрение данного подхода сокращает время подготовки документации на 35–45 % по сравнению с традиционным DOCX-ориентированным процессом.

Ключевые слова: Docs-as-Code, техническая документация, AsciiDoc, CI/CD, автоматизация, Pandoc, модульная архитектура, сниппеты, метрики эффективности

TRANSITION FROM DOCX TO DOCS-AS-CODE: A DEEP TRANSFORMATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION PROCESSES

Oleg V. Perfiliev¹, Ivan N. Korepin²

^{1,2}Open Solutions LLC, Penza, Russia

¹oleg_perfiliev@mail.ru

²ivan.korepin@osinit.com

Abstract. The article presents an implemented architecture of technical documentation as an engineering product based on the Docs-as-Code methodology. Experimental results demonstrate that the proposed approach reduces document preparation time by 35–45 % compared to traditional DOCX-based workflows.

Keywords: Docs-as-Code, technical documentation, AsciiDoc, CI/CD, automation, Pandoc, modular architecture, snippets, efficiency metrics

В эпоху цифровой трансформации и ускоренного жизненного цикла программного обеспечения традиционные подходы к созданию технической документации, основанные на ручном редактировании файлов в форматах DOCX, становятся серьезным

узким местом. Данные подходы характеризуются высокой трудоёмкостью, подвержены человеческим ошибкам (форматирование, битые ссылки, несогласованность стилей), и слабой интеграцией с современными процессами разработки, что приводит к отставанию документации от кода на недели и более [1, 2]. В условиях, когда документация является неотъемлемой частью продукта и критически важна для пользователей, поддержки и дальнейшей разработки, возникает острая необходимость в переходе к более эффективным, автоматизированным и управляемым методологиям. Одним из перспективных решений является подход Docs-as-Code (DaC), который рассматривает документацию как инженерный артефакт, подчиняющийся тем же принципам контроля версий, автоматизированной сборки и непрерывной интеграции, что и исходный программный код [3]. Данная статья представляет собой стадии внедрения методологии DaC в проекте, демонстрируя её практическую применимость и измеримые выгоды.

Цель и задачи

Целью работы является разработка и оценка архитектуры технической документации, основанной на методологии DaC, с количественным сравнением её эффективности по сравнению с традиционным подходом на основе DOCX.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Миграция существующей базы документов из формата DOCX в текстовую разметку AsciiDoc.
2. Автоматизация процессов сборки, валидации и публикации документации в рамках CI/CD-пайплайна.
3. Проведение сравнительного анализа ключевых метрик (времени подготовки) до и после внедрения новой архитектуры.

Исходные инструменты и технологии

Для перехода к языку разметки использовались следующие инструменты:

1. Язык разметки и редакторы:
 - AsciiDoc (.adoc) – основной язык разметки для документации;
 - VS Code или VS Codium – среда разработки для редактирования и генерации документации из исходных файлов разметки.
2. Плагины для VS Code / VS Codium (устанавливаются сразу после запуска среды):

- AsciiDoc (структура, предварительный просмотр, подсветка синтаксиса);
- Russian Language Pack;
- Microsoft Edge Tools;
- Git Extension Pack (donjayamanne);
- vsCode-pdf (редактирование и генерация PDF).

3. Конвертация и системы контроля версий:

- Pandoc – универсальный конвертер документов для преобразования файлов между различными форматами [4];
- GitLab – система контроля версий для управления изменениями в исходных файлах документации [5].

4. Скрипты и автоматизация:

- Python – скрипты для автоматизации задач, например:
 - построение иерархической структуры файлов документации;
 - автоматическое создание главного файла;
 - Ruby – язык программирования, поддерживающий отдельные процессы автоматизации документации [6].

Конвертация исходных документов через Pandoc

Исходные файлы в формате DOCX конвертируются в AsciiDoc с помощью утилиты Pandoc:

```
bash
pandoc input.docx -f docx -t asciidoc -o output.adoc
```

После конвертации выполняется создание структуры документации с помощью скриптов на языке Python и её последующая проверка.

Формирование структуры документации:

- документ автоматически разбивается на логические модули или главы и приложения, которые помещаются в определённые папки (например, 1.chapter.adoc, 2.chapter.adoc);
- автоматически с помощью скрипта создаётся главный файл (main.adoc), который собирает все модули воедино с помощью директивы include::.

На рис. 1 приведён фрагмент кода (листинг), демонстрирующий базовый подход к созданию структуры документации с главами, приложениями и главным файлом. Его можно расширять и адаптировать под конкретные проекты.

```

94 # Создание структуры документации
95 try:
96     self.generate_structure(root_dir, product_name, doc_dir, chapters_count, appendix_count, create_appendix)
97     self.show_message("Успех", "Структура документации успешно создана!")
98 except Exception as e:
99     self.show_message("Ошибка", f"Произошла ошибка: {str(e)}")
100
101 def generate_structure(self, root_dir, product_name, doc_dir, chapters_count, appendix_count, create_appendix):
102     """
103     Генерирует структуру документации.
104     """
105     #param root_dir: Название главной директории.
106     #param product_name: Название продукта.
107     #param doc_dir: Директория для документации.
108     #param chapters_count: Количество глав.
109     #param appendix_count: Количество приложений.
110     #param create_appendix: Флаг для создания приложений.
111     """
112     base_path = os.path.join(doc_dir, root_dir, product_name, "documentation")
113     os.makedirs(base_path, exist_ok=True)
114
115     # Создание основных директорий
116     main_dirs = [
117         os.path.join(base_path, "chapters"),
118         os.path.join(base_path, "media")
119     ]
120     for dir_path in main_dirs:
121         os.makedirs(dir_path, exist_ok=True)
122
123     # Создание поддиректорий для медиа контента по номеру глав
124     for i in range(1, chapters_count + 1):
125         chapter_media_dir = os.path.join(base_path, "media", f"{i}.chapter")
126         os.makedirs(chapter_media_dir, exist_ok=True)
127
128     # Создание файла .gitkeep для пустых папок
129     gitkeep_path = os.path.join(chapter_media_dir, ".gitkeep")
130     with open(gitkeep_path, "w") as gitkeep_file:
131         pass # файл создаётся пустым
132
133     # Создание файлов end
134     for i in range(1, chapters_count + 1):
135         # Создание файла end
136         chapter_file_path = os.path.join(base_path, "chapters", f"{i}.chapter.adoc")
137         with open(chapter_file_path, "w", encoding="utf-8") as chapter_file:
138             chapter_file.write("") # Создаем пустые файлы для end
139
140     # Создание приложений, если выбрано
141     if create_appendix and appendix_count > 0:
142         appendix_dir = os.path.join(base_path, "appendix")
143         os.makedirs(appendix_dir, exist_ok=True)
144
145     # Создание файлов приложений
146     for i in range(1, appendix_count + 1):
147         appendix_file_path = os.path.join(appendix_dir, f"{i}.appendix.adoc")
148         with open(appendix_file_path, "w", encoding="utf-8") as appendix_file:
149             appendix_file.write(f"Приложение {i}\n\n")
150
151     # Создание карты приложений appendix.adoc
152     appendix_map_path = os.path.join(base_path, "appendix.adoc")
153     with open(appendix_map_path, "w", encoding="utf-8") as appendix_map:
154         appendix_map.write("appendix-number: 0\n:sectnums:\n:toc:\n\n")
155         appendix_map.write("== Приложение\n\n")
156         for i in range(1, appendix_count + 1):
157             appendix_map.write(f"<<Приложение {i}>>\n\n")
158             appendix_map.write(f"include: {i}.appendix.adoc\n\n")
159
160     # Создание основного файла документации main.adoc
161     main_adoc_path = os.path.join(base_path, "main.adoc")
162     with open(main_adoc_path, "w", encoding="utf-8") as main_adoc:
163         main_adoc.write("::sectnums:\n\n")
164         main_adoc.write("::toc:\n\n")
165         main_adoc.write("== Руководство пользователя\n\n")
166         main_adoc.write("== Парочка включенных в документ глав\n\n")
167
168     # Добавление include для каждой главы
169     for i in range(1, chapters_count + 1):
170         main_adoc.write(f"include: {i}.chapter.adoc\n\n")
171
172     # Если выбрано создание приложений
173     if create_appendix and appendix_count > 0:
174         main_adoc.write("\n== Приложение\n\n")
175         main_adoc.write("include: appendix.adoc\n\n")
176
177     self.show_message(self.title, message)

```

Рис. 1. Фрагмент кода, задающий структуру документации

Структура проекта

Репозиторий организован по модульному принципу, где каждый файл .adoc представляет собой независимый блок контента. Пример модульной структуры документа представлен на рис. 2

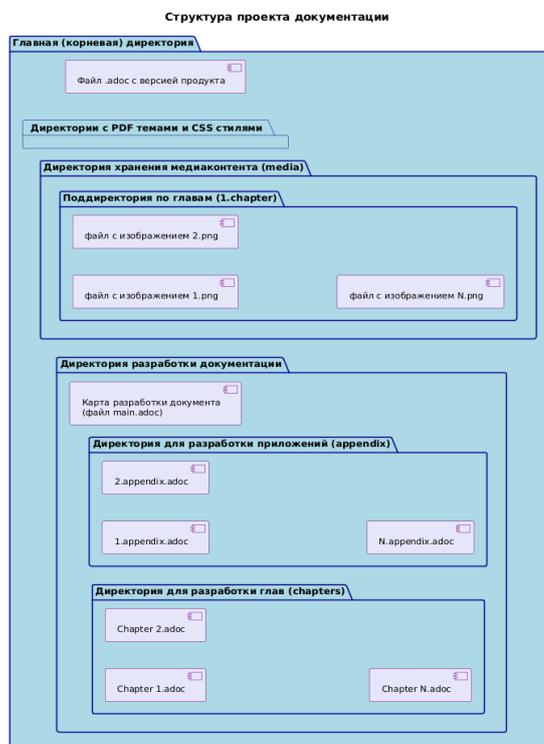


Рис. 2. Пример модульной структуры документа

Внедрение и автоматизация процессов подготовки документации с использованием CI/CD

Внедрение CI/CD в методологию DaC обеспечивает автоматизацию этапов подготовки технической документации, включая валидацию синтаксиса и структуры AsciiDoc, сборку итоговых форматов, проверку целостности ссылок. Интеграция с системами контроля версий позволяет организовать управление изменениями и ревью (анализ и оценка структуры документации с целью выявления ее недостатков и улучшения качества), что снижает вероятность ошибок.

Результаты и метрики эффективности

На рис. 3 показано сокращение временных затрат на подготовку документов разных типов.

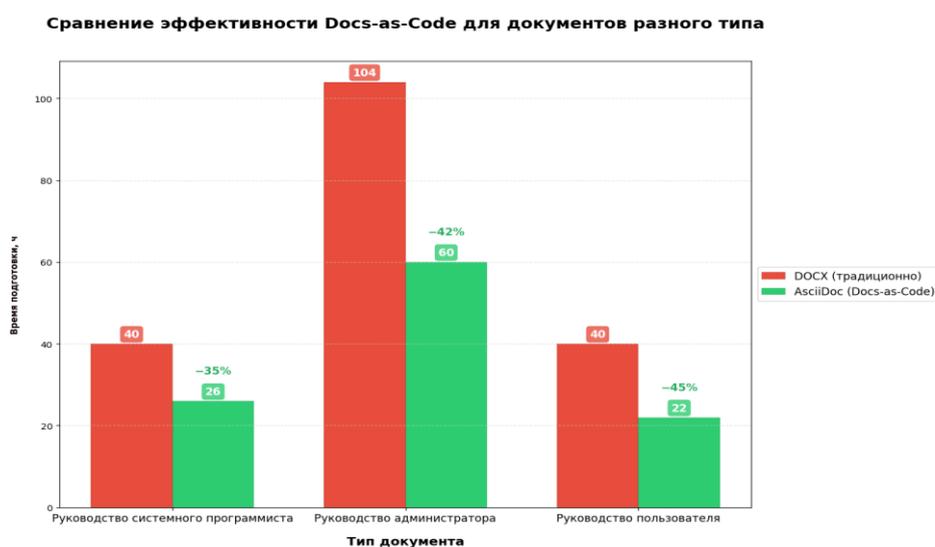


Рис. 3. Сравнение эффективности до и после внедрения DaC

Результаты показывают, что внедрение DaC обеспечивает значительную экономию времени на создание технической документации:

- для руководства администратора объёмом 130 стр. экономия составила 42 %;
- для руководства пользователя объёмом 50 стр. экономия составила 45 %;
- для системного руководства объёмом 50 стр. экономия составила 35 %.

Использование сниппетов

Сниппеты¹ отдельно создаются в файле .json и хранятся в папке /snippets/. Они вызываются с помощью команды Ctrl+Shift+P в текстовом редакторе кода VS Code или путем ввода короткого уникального фрагмента – префикса сниппета. После этого шаблон автоматически развернётся в полный блок текста или кода с возможностью непосредственного заполнения нужных полей.

Фрагмент сниппета в формате .json представлен рис. 4.

```
"Вставка ссылки на рисунок": {
  "prefix": "pic",
  "body": [
    "[[fig_${1:название_рисунка}]]",
    ". ${2:Описание рисунка}",
    "image:../media/${3:4.chapter}/${1:название_рисунка}.png[width=700]",
    "",
    "<<fig_${1:название_рисунка}>>"
  ],
  "description": "Сниппет для вставки ссылок на рисунки с плейсхолдерами для наименования и описания"
},
"Пустая 3-колоночная таблица AsciiDoc": {
  "prefix": "table",
  "body": [
    ". ${1:Таблица 1 - Название таблицы}", // Ручной ввод номера и заголовка
    "[options=header]",
    "===",
    "| ${2:Первый столбец} | ${3:Второй столбец} | ${4:Третий столбец}|",
    "| ${5:Данные 1} | ${6:Данные 2} | ${7:Данные 3}|",
    "| ${8:Данные 4} | ${9:Данные 5} | ${10:Данные 6}|",
    "| ${11:Данные 7} | ${12:Данные 8} | ${13:Данные 9}|",
    "===",
    ""
  ],
  "description": "Пустая трёхколоночная таблица в формате AsciiDoc с плейсхолдерами для заголовка и данных"
},
"Универсальный свернутый блок с изображением": {
```

Рис. 3. Сравнение эффективности до и после внедрения DaC

Преимущества сниппетов:

- увеличение скорости;
- удобство редактирования;
- меньшее число ошибок.

Заключение

Переход от DOCX к DaC с использованием стека AsciiDoc и GitLab CI/CD представляет собой не просто смену инструментов, а фундаментальную трансформацию культуры и процессов создания технической документации. Эксперимент, проведённый в рамках проекта, подтвердил значительные преимущества данного подхода. Внедрение подхода позволило сократить время подготовки документов на 35–45 % в зависимости от типа и объёма документов.

¹ Заранее определённые фрагменты кода (шаблоны), которые могут быть быстро вставлены в редактор кода путём набора нескольких букв.

Методология DaC обеспечивает качественные улучшения:

- документация становится частью базы программного кода, что гарантирует её актуальность и версионность;
- модульная архитектура упрощает управление и повторное использование контента;
- автоматизация освобождает технических писателей от рутинных задач, позволяя им сосредоточиться на содержании.

Опыт, изложенный в данной работе, и лучшие практики, заимствованные у лидеров отрасли (SITRONICS Group [1] и Alfa-Bank [2]) показывают, что DaC является целостной и эффективной методологией, применимой в любых организациях, где качество и своевременность документации являются критически важными факторами успеха. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию DaC с системами управления знаниями и расширение автоматизированной валидации путем применения методов искусственного интеллекта для анализа семантической полноты и согласованности документации.

Список литературы

1. SITRONICS Group. Опыт внедрения AsciiDoc // Хабр. 2021. URL: https://habr.com/ru/companies/sitronics_group/articles/654355/ (дата обращения: 15.09.2025).
2. Alfa-Bank. Документация как код // Хабр. 2022. URL: <https://habr.com/ru/company/alfa/articles/757872> (дата обращения: 15.09.2025).
3. Автоматизация процесса создания технической документации на основе подхода Docs-as-Code // Информационные технологии. 2023. № 5. URL: <https://na-journal.ru/5-2023-informacionnye-tekhnologii/5036/> (дата обращения: 15.09.2025).
4. Pandoc. Universal Document Converter. URL: <https://pandoc.org/> (дата обращения: 15.09.2025).
5. GitLab – система контроля версий для управления изменениями в исходных файлах документации. URL: <https://about.gitlab.com/> (дата обращения: 01.10.2025).
6. Ruby – язык программирования, поддерживающий отдельные процессы автоматизации документации. URL: <https://www.ruby-lang.org/> (дата обращения: 01.10.2025).

4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.6

ОСОБЕННОСТИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ OPENCV

Кирилл Русланович Антонов¹, Данила Андреевич Макаров²,
Дмитрий Григорьевич Липатников³,
Евгений Алексеевич Питиков⁴

^{1,2,3}*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*
⁴*АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"»,
г. Пенза, Россия*

¹ekx322@gmail.com, ²trinity.wf83@mail.ru,
³lipdgv@gmail.com, ⁴pitikov@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности отслеживания движущихся объектов на видео с использованием последовательной обработки изображений и сопоставления шаблонов. Алгоритм базируется на обработке исходного кадра в градации серого, фильтрации шумов, выравнивании гистограммы и бинаризации изображения, а также рассматриваются параметры фильтров и их влияние на качество отслеживания.

Ключевые слова: отслеживание объектов, обработка изображений, медианный фильтр, выравнивание гистограммы, CLAFHE, бинаризация, сопоставление шаблонов, OpenCV

FEATURES OF TRACKING MOVING OBJECTS IN VIDEO IMAGES USING OPENCV TOOLS

Kirill R. Antonov¹, Danila A. Makarov²,
Dmitry G. Lipatnikov³, Evgeny A. Pitikov⁴

^{1,2,3}*Penza State University, Penza, Russia*
⁴*JSC «Research and production enterprise "Rubin"», Penza, Russia*

¹ekx322@gmail.com, ²trinity.wf83@mail.ru,
³lipdgv@gmail.com, ⁴pitikov@yandex.ru

Abstract. This study examines the characteristics of tracking moving objects in video sequences using sequential image processing and template matching

techniques. The algorithm is based on processing the original frame in grayscale, applying noise filtering, histogram equalization, and image binarization. Additionally, the influence of filter parameters on the quality and stability of object tracking is analyzed.

Keywords: object tracking, image processing, median filter, histogram equalization, CLANE, thresholding, template matching, OpenCV

Отслеживание объектов на видеоизображении [1] является одной из ключевых задач компьютерного зрения, применяемой в системах видеонаблюдения, робототехнике и дополненной реальности. Цель данной работы: надежно определить положение объекта в последовательных кадрах.

Был использован классический подход с применением обработки изображения средствами OpenCV [2]: преобразование в оттенки серого, фильтрация шумов медианным фильтром, улучшение контрастности при помощи адаптивного гистограммного преобразования (CLANE), бинаризация пороговой функцией и отнесение объекта по принципу шаблона.

Методы обработки изображения

Для обработки видеопотока применяется набор методов, направленных на выделение объекта и уменьшение влияния шума. В начале цветное изображение конвертируется в оттенки серого [3-5] с целью упрощения последующих расчетов. В градациях серого закодирована информация о яркости каждого пикселя, чего достаточно для того, чтобы определить их геометрические контуры и текстуру, но при этом существенно снижается вычислительная нагрузка. Преобразование цветного изображения в градации серого выполняется по формуле:

$$I_{gray} = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B, \quad (1)$$

где I_{gray} – яркость пикселя в оттенках серого, R, G и B – яркости каналов красного, зеленого и синего соответственно.

Эффективный способ удаления шума – медианный фильтр [4–7], размер ядра которого контролируется величиной blurSize. Этот метод эффективно, устраняет шум, при этом выделяя контуры, границы объектов. Медианный фильтр относится к нелинейным методам фильтрации и основан на замене значения каждого

пикселя медианой яркостей пикселей в его окрестности. Математически операция описывается как:

$$I_{out}(x, y) = \text{median}\{ I_{in}(i, j) \mid (i, j) \in N(x, y) \}, \quad (2)$$

где $I_{in}(i, j)$ – яркости пикселей исходного изображения в окне $N(x, y)$ размером $\text{blurSize} * \text{blurSize}$, $I_{out}(x, y)$ – результирующее значение пикселя после фильтрации.

Размер ядра blurSize напрямую определяет баланс между уровнем фильтрации и сохранением деталей: малые ядра (3*3) эффективно подавляют импульсный шум с минимальным воздействием на резкость границ. Увеличение размера ядра усиливает подавление шума, но начинает затрагивать полезные детали изображения. Медианный фильтр в отличие от линейных не усредняет значения, а выбирает центральное по порядку. Именно поэтому импульсный шум легко подавляется без существенного размытия контуров.

После фильтрации применяется метод адаптивного выравнивания гистограммы с ограничением контраста – CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [4, 5, 8]. Этот метод позволяет повысить локальный уровень контрастности изображения, что делает мелкие детали более заметными. Кадр разделяется на некоторое количество небольших областей, например 32*32 пикселя. В каждой области выравнивается яркость, контраст областей ограничивается заранее заданным значением clipLimit , чтобы не усилить контраст слишком сильно и не внести в изображение нежелательный шум. Принцип работы можно описать формулой:

$$I_{out}(x, y) = \text{CDF}(I_{in}(x, y)) \cdot (L - 1), \quad (3)$$

где $I_{in}(x, y)$ – яркость пикселя до обработки, $I_{out}(x, y)$ – яркость после обработки, L – количество возможных уровней яркости (обычно 256), CDF – накопленная функция распределения яркости. После обработки все области соединяются обратно, получая итоговое изображение с плавными переходами. Влияние параметров clipLimit и tilesGridSize на результат: мелкие области tilesGridSize (8*8) усиливают локальный контраст, но создают артефакты на однородных участках. Крупные области (32*32) сохраняют плавность переходов, но слабее выделяют детали. Низкое ограничение контраста (clipLimit) сохраняет естественность изображения, но умеренно усиливает детали. Высокое значение

значительно подчеркивает детали, но проявляет шум и создает неестественные переходы.

После повышения контраста выполняется пороговая бинаризация [4,5,7,9] с заданным порогом $thres$. Этот метод преобразует изображение в черно-белое: все пиксели, яркость которых выше порога, становятся белыми, а те, что ниже – чёрными. Таким образом, остаются только самые важные области, например контуры объекта. Математически процесс описывается так:

$$I_{out}(x, y) = \begin{cases} 255, & \text{если } I_{in}(x, y) \geq thres, \\ 0, & \text{если } I_{in}(x, y) < thres, \end{cases} \quad (4)$$

где $I_{in}(x, y)$ – яркость пикселя до обработки, $I_{out}(x, y)$ – значение после бинаризации (0 – чёрный, 255 – белый), $thres$ – выбранное значение порога.

Отслеживание объектов

На этапе инициализации отслеживания целевая область выделяется в исходном кадре в виде прямоугольного окна фиксированного размера $stopSize$, расположенного в центральной части изображения. Полученный фрагмент сохраняется как шаблон T , используемый для последующего сопоставления с кадрами видеопотока. На каждом последующем кадре I выполняется поиск области, наиболее похожей на шаблон. Для этого вычисляется нормированный коэффициент корреляции, определяющий меру сходства между шаблоном и каждой потенциальной областью изображения. Значение отклика $R(x, y)$ для положения (x, y) вычисляется по выражению [10]:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{i,j} (T(i,j) - T') (I(x+i, y+j) - I'_{x,y})}{\sqrt{\sum_{i,j} (T(i,j) - T')^2 * \sum_{i,j} (I(x+i, y+j) - I'_{x,y})^2}}, \quad (5)$$

где $T(i, j)$ – значение интенсивности пикселя шаблона с координатами (i, j) , $T' = \frac{1}{N} \sum_{i,j} T(i, j)$ – среднее значение интенсивности всех пикселей шаблона, где N обозначает их общее количество, $I(x + i, y + j)$ – значение интенсивности пикселя изображения в положении $(x + i, y + j)$, соответствующем текущей позиции окна сопоставления, $I'_{x,y} = \frac{1}{N} \sum_{i,j} I(x + i, y + j)$ – среднее значение интенсивности пик-

селей фрагмента изображения, размер которого совпадает с размером шаблона и левый верхний угол которого расположен в точке (x, y) .

Заключение

В ходе работы был рассмотрен подход к отслеживанию движущихся объектов в видеопотоке, основанный на обработке изображений и сопоставлении шаблона. Для его реализации был использован комплексный алгоритм, включающий такие ключевые методы предварительной обработки, как преобразование в градации серого, фильтрация шумов медианным фильтром, адаптивное выравнивание гистограммы с ограничением контраста и пороговая бинаризация для сегментации объекта.

В результате было установлено, что при правильном подборе параметров данный способ позволяет достичь высокой устойчивости к шумам и изменению освещенности для движущихся объектов со стабильной текстурой и размером.

Перспективы дальнейшего развития алгоритма связаны с его расширением за счет интеграции цветовой фильтрации, использования более продвинутых методов обработки и реализации механизмов адаптивного обновления шаблона. Практическая эффективность подхода подтверждается возможностью применения в системах автоматического наведения, робототехнике и промышленных системах машинного зрения.

Список литературы

1. Teplitzkiy E., Mitrokhin M., Zakharov S. [et al.]. Video Processing Method for Moving Objects Detection on Scenes with Complex Dynamic Background // Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. Proceedings of 10th Computer Science Online Conference. 2021. Vol. 3. P. 356–364. doi: 10.1007/978-3-030-77448-6_33 EDN: KNUUJL
2. OpenCV: OpenCV modules. 2025. URL: <https://docs.opencv.org/4.x/index.html> (дата обращения: 10.10.2025).
3. OpenCV: Color conversions. 2025. URL: https://docs.opencv.org/4.x/de/d25/imgproc_color_conversions.html (дата обращения: 10.10.2025).
4. Буэно Гарсия Г., Дениз Суарес О., Эспиноса Аранда Х. Л. Обработка изображений с помощью OpenCV / пер. с англ. А. А. Слинкин. М. : ДМК-Пресс, 2016. С. 210.
5. Bradski G., Kaebler A. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV library. 2008. P. 557.

6. OpenCV: Image Filtering. 2025. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d4/d86/group_imgproc_filter.html (дата обращения: 10.10.2025).

7. Техническое зрение в системах управления мобильными объектами : тр. науч.-техн. конференции-семинара / под ред. Р. Р. Назирова. М. : КДУ, 2011. Вып. 4. 328 с.

8. OpenCV: Histograms. 2025. URL: https://docs.opencv.org/4.x/d6/dc7/group_imgproc_hist.html (дата обращения: 10.10.2025).

9. OpenCV: Basic Thresholding Operations. 2025. URL: https://docs.opencv.org/3.4/db/d8e/tutorial_threshold.html (дата обращения: 10.10.2025).

10. OpenCV: Template Matching. 2025. URL: https://docs.opencv.org/4.x/de/da9/tutorial_template_matching.html (дата обращения: 10.10.2025).

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО СЕТЯМ WLAN В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Игорь Иванович Бузенков¹, Юрий Викторович Редькин²,
Екатерина Романовна Пакшина³

*^{1,2,3}Государственный морской университет имени адмирала
Ф. Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия*

¹igor.buzenkov@mail.ru

²redkin_yura@mail.ru

³kattchernysheva@yandex.ru

Аннотация. Представлена модель беспроводного канала передачи данных по сети WLAN, работающего в условиях помех от промышленного оборудования. Рассмотрены особенности построения генератора пакетных ошибок, возникающих при передаче данных по каналу сети. Описаны программные модули модели канала передачи и генератора, разработанные в математическом пакете MathCAD. Приведены результаты моделирования работы канала передачи при воздействии на него пакетных помех, имеющих нормальный закон распределения длины пакета ошибок.

Ключевые слова: беспроводная сеть, моделирование передачи данных, генератор ошибок передачи, пакетная ошибка, нормальный закон распределения

DATA TRANSMISSION OVER WLAN NETWORKS UNDER CONDITIONS OF INTERFERENCE FROM INDUSTRIAL EQUIPMENT

Igor I. Buzenkov¹, Yuri V. Redkin², Catherine R. Pakshina³

^{1,2,3}Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

¹igor.buzenkov@mail.ru

²redkin_yura@mail.ru

³kattchernysheva@yandex.ru

Abstract. The paper presents a model of a wireless data transmission channel over a WLAN network operating under conditions of interference from industrial equipment. The paper considers the features of constructing a generator of packet errors occurring during data transmission over a network channel. The

paper describes the software modules of the transmission channel model and the generator developed in the MathCAD mathematical package. The paper presents the results of modeling the operation of the transmission channel under the influence of packet interference with a normal distribution law for the length of the error packet.

Keywords: wireless network, data transmission modeling, transmission error generator, packet error, normal distribution law

Беспроводные каналы передачи стали неотъемлемой частью современных систем автоматизации промышленного оборудования. Однако, беспроводные каналы с точки зрения надежности, значительно уступают кабельным, поскольку менее защищены от электромагнитных помех, возникающих, например, вследствие пуска, остановки и работы электродвигателей, разрядов статического электричества, работы мощных передатчиков, сварки и других факторов [1]. Помехи от этих устройств имеют большую мощность и широкий спектр, что приводит к потерям пакетов данных, передаваемых по беспроводной сети. Как следствие, при использовании WLAN сетей для сбора данных от датчиков или телеуправления промышленным оборудованием необходимо тщательно подбирать параметры канального сигнала: вид модуляции несущего сигнала, скорость передачи данных, тип кодирования и протокола передачи данных [2].

С целью исследования поведения WLAN сетей в условиях помех от промышленного оборудования выполняют их моделирование, в ходе которого изучаются схемы кодирования и протоколы передачи, предназначенные для использования в сети [3]. При этом требуется имитировать потоки ошибок, возникающие в канале передачи, которые в промышленных WLAN сетях, как правило, носят не одиночный характер, а группируются в пакеты [4]. Целью работы является разработка в MathCAD программной модели беспроводного канала передачи, в котором возникают пакетные ошибки передачи данных, имеющие заданную вероятность появления, нормальный закон распределения и заданное среднее число ошибок в пакете.

Структурная схема предлагаемой модели передачи данных по беспроводному каналу, на которую воздействует пакет ошибок от работающего промышленного оборудования, представлена на рис. 1.

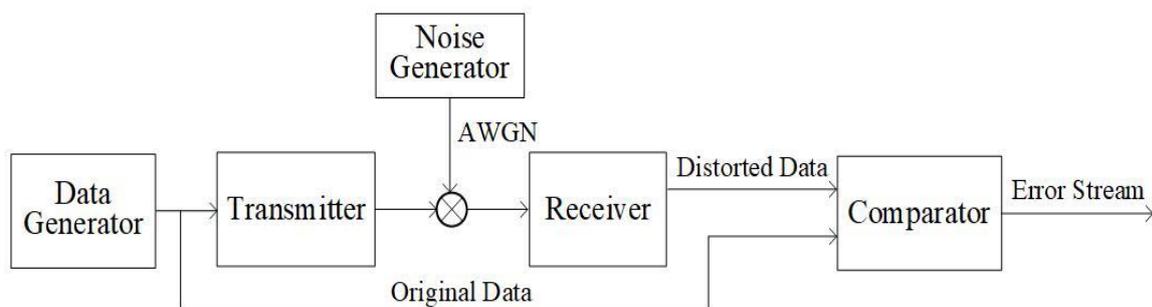


Рис. 1. Модель канала передачи по WLAN сети

На рис. 1 использованы следующие обозначения: Data Generator – генератор данных для передачи, Transmitter/Receiver – передатчик/приемник канала, Noise Generator – генератор шума, AWGN – шум канала передачи, Original/Distorted Data – переданные/принятые (искаженные) данные, Comparator – компаратор переданных и принятых данных, Error Stream – поток ошибок.

Основные затруднения при реализации модели, представленной на рис. 1, вызывает разработка генератора пакетных ошибок по запросу с заданным законом распределения. Так, в математическом пакете MathCAD, обращаясь к функции $\text{rnd}(N)$, можно сформировать пакет случайных чисел с равномерным законом распределения и средним значением $N/2$. Однако, генерировать по запросу случайные числа с другими законами распределения намного сложнее. В тоже время, математический пакет содержит функции, позволяющие создавать массив чисел с заданным распределением, например, нормальным – $\text{norm}(N, m, s)$, где N – размер массива, m – математическое ожидание, s – среднее квадратическое отклонение (ско). Создав с ее помощью массив чисел с нормальным законом распределения достаточно большой длины N и обращаясь к его элементам с помощью функции $\text{rnd}(N)$ случайным образом, можно получить поток пакетных ошибок заданной средней длины и нормальным законом распределения длины пакета, формируемых по запросу.

Для оценки влияния на канал передачи пакетов помех с заданными свойствами в пакете MathCAD были составлены программы, модули которых представлены на рис. 2.

На рис. 2 использованы следующие обозначения: PErr – вероятность возникновения ошибки в канале передачи, PackLen – средняя длина пакета ошибок, K – среднее ожидаемое число ошибок передачи за время моделирования.

```

RPR(PErr, PackLen, K) :=
  N ← ceil( K / PErr )
  ErrCount ← 0
  LnCount ← 0
  for i ∈ 1..N
    if LnCount = 0
      ErrCh ← PackError(PErr)
      if ErrCh = 1
        LnCount ← LnGNorm(PackLen)
        ErrCount ← ErrCount + 1
      else
        LnCount ← LnCount - 1
  [ErrCount]

LnGNorm(PackLen) :=
  if PackLen = 1
    return 1
  N ← 1000
  PLen ← PackLen - 0.5
  V ← rnorm(N, PLen, 0.33 PLen)
  for i ∈ 1..N
    if Vi < 0
      Vi ← 0
  W ← ceil(V)
  mark ← ceil(rnd(N))
  Wmark

```

Рис. 2. Программные модули для моделирования канала передачи с пакетными ошибками:

- а) программа расчета вероятности ошибки в канале передачи;
- б) модуль генератора нормально распределенных чисел

Результаты тестирования свойств, получаемых потоков нормально распределенных длин пакетов ошибок, показаны на рис. 3. Здесь $mNorm$ – математическое ожидание, $sNorm$ – среднее квадратическое отклонение, h – гистограмма распределения длины пакетов, m – требуемое среднее значение числа ошибок в пакете.

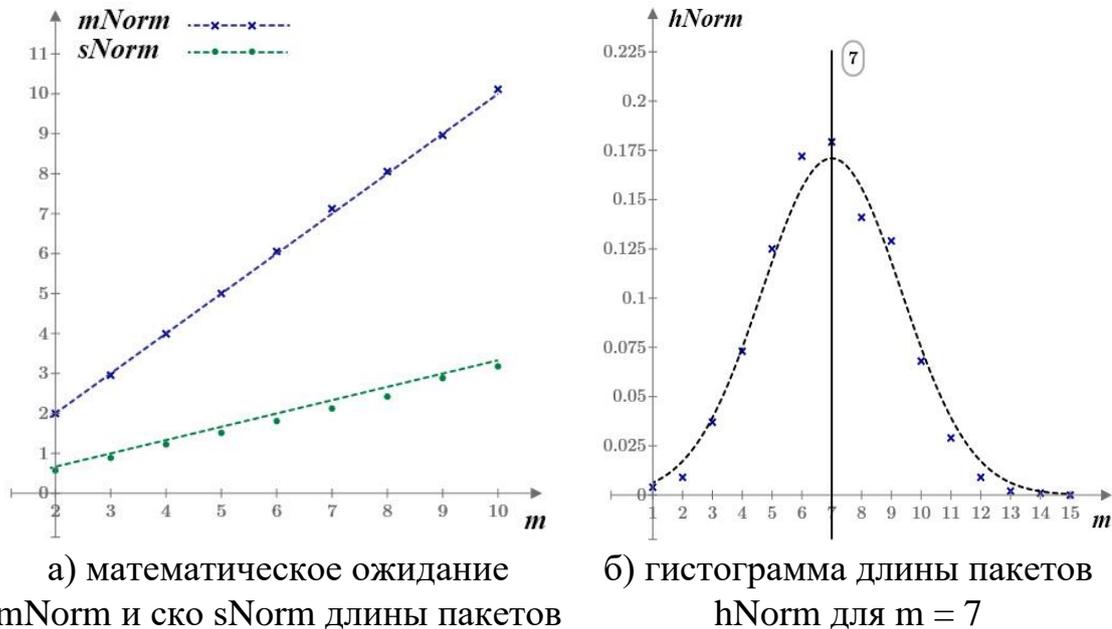


Рис. 3. Параметры потока чисел с нормальным законом распределения

Отклонения полученных в ходе моделирования параметров потока ошибок (математическое ожидание Δm , среднее квадратическое отклонение Δs , гистограмма Δh) от расчетных сведены в табл. 1.

Таблица 1

Относительное отклонение полученных параметров от расчетных для нормального закона распределения потока пакетных ошибок

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta m, \%$	0,7	0,9	0,6	0,4	0,5	1,3	1	1,3	0,2
$\Delta s, \%$	14,7	14,2	10,2	8,3	7,3	8,1	4,4	5,4	6,6
$\Delta h, \%$	4,8	1,4	1,1	3,9	9,4	6,5	8,8	6,2	4,0

Как следует из рис. 3 и табл. 1, полученные оценки параметров потока ошибок хорошо согласуются с ожидаемыми теоретическими значениями (показаны пунктирными линиями). Максимальные отклонения, зафиксированные в ходе моделирования, составили: для математического ожидания – 1,3 %, а для среднего квадратического отклонения – 14,7 %, причем, последнее быстро уменьшается с ростом m . Гистограмма распределения числа ошибок в пакете близка к нормальному закону для любых значений m (рис. 3,б). Отметим, что полученные отклонения математического ожидания и среднего квадратического отклонения, для рассматриваемой выборки из 10^3 пакетов, составляют сравнительно малую величину, а гистограмма вполне соответствуют ожидаемому результату для такого размера выборки [5].

Таким образом, предложенная модель беспроводного канала передачи WLAN сети позволяет изучать его поведение в условиях специфических помех от промышленного оборудования и благодаря этому подбирать оптимальные схемы кодирования/декодирования, необходимые для реальных условий передачи по сети. В частности, она позволяет имитировать воздействие на канал пакетных ошибок, число которых в пакете имеет нормальный закон распределения и заданное среднее значение. Полученные в ходе моделирования отклонения математического ожидания, среднего квадратического отклонения и гистограммы распределения числа ошибок в пакете от расчетных значений имеют допустимую

величину, что подтверждает адекватность предложенной модели передачи данных.

Список литературы

1. Денисенко В. Беспроводные локальные сети // СТА. 2009. № 1. С. 90–102.
2. 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/aumsuomt110/23
3. Бузенков И. И., Редькин Ю. В., Тюфанова А. А. Оценка эффективности восстановления сигналов радиорелейных линий, искаженных помехами // Эксплуатация морского транспорта. 2023. № 2 (107). С. 192–197. doi: 10.34046/aumsuomt107/34
4. Willig A., Matheus K., Wolisz A. Wireless technology in industrial networks // Proceedings of the IEEE (June 2005). 2005. Vol. 93, iss. 6. P. 1130–1151.
5. Воскобойников Ю. Е. Статистический анализ экспериментальных данных в пакетах MathCAD и Excell. СПб. : Лань, 2021. 212 с.

ЗАЩИТА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОТ ГРАДИЕНТНЫХ АТАК НА ВЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORA И VRF

Иван Сергеевич Величко¹, Сергей Валентинович Беззатеев²

*^{1,2}Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия*

¹wwr0ngn4m3@yandex.ru

²bsv@guap.ru

Аннотация. Предлагается метод защиты, сочетающий адаптацию модели с помощью LoRA и криптографическую функцию VRF для повышения устойчивости к градиент-оптимизированным атакам.

Ключевые слова: большая языковая модель, промпт-инъекция, LoRA, VRF

PROTECTION OF LARGE LANGUAGE MODELS FROM GRADIENT-BASED WEIGHT ATTACKS USING LORA AND VRF

Ivan S. Velichko¹, Sergey V. Bezzateev²

*^{1,2}Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint Petersburg, Russia*

¹wwr0ngn4m3@yandex.ru

²bsv@guap.ru

Abstract. This paper proposes a defense method that combines LoRA-based model adaptation with cryptographic verifiable random function to enhance the robustness of large language models against gradient-optimized attacks.

Keywords: large language model, prompt injection, LoRA, VRF

Промпт-инъекция – это уязвимость, позволяющая злоумышленнику внедрять скрытые или противоречивые инструкции в текст запроса к языковой модели, намереваясь изменить ее поведение. Поскольку LLM [1] интерпретирует вход как единую последовательность, они не отличают «разрешенные» команды от вредоносных. Помимо классических инъекций существуют еще

градиент-оптимизированные атаки, которые используют информацию о внутренних градиентах модели для систематического подбора входа, способного вызвать желаемый или запрещенный отклик. Градиент-оптимизированные атаки могут привести к утечке чувствительной информации из систем управления, выдаче скрытых инструкций или даже к тому, что модель начнет «галлюцинировать» на юридически опасные темы. Поэтому возникает практическая потребность увеличить сложность атаки. В этой статье предлагается решение, основанное на использовании VRF [2] в сочетании с LoRA [3].

COLD-Attack

COLD-Attack [4] за последнее время одна из самых эффективных градиент-оптимизированных атак. Ее ключевая идея заключается в построении энергетической функции позволяющей реализовать лексические ограничения и семантическую близость (например, при переформулировке атаки).

Структура COLD-атаки включает три основных шага:

- формулирование функции энергии: корректное определение функции энергии для учета ограничения атаки;
- выборка с использованием динамики Ланжевена: рекурсивный запуск динамики Ланжевена на N шагов для получения целевых логит-векторов \tilde{y}^N (градиентный поиск);
- процесс декодирования: использование процесса декодирования с направляющим воздействием модели языковой генерации для преобразования непрерывного логита \tilde{y}^N в дискретные текстовые атаки y .

COLD-Attack выгодно отличается от других атак (например, GCG [6], основанной на жадном дискретном поиске) тем, что не опирается на дискретные итерации с токенами, а работает в непрерывном пространстве эмбедингов, что позволяет использовать градиенты напрямую.

Предлагаемый метод защиты

Один из возможных методов защиты больших языковых моделей от атак на основе градиентного подбора – это использование сочетания криптографической функции VRF и технологии дообучения LLM под названием LoRA. Градиент ориентированные

атаки опираются на допущение, что модель в каждом сеансе ведет себя предсказуемо и стабильно. Именно это допущение и нарушается в предложенном методе.

VRF – это криптографически безопасная функция, которая на входе принимает секретный ключ и публичные, а на выходе выдает псевдослучайное, но воспроизводимое значение. Для наблюдателя без доступа к секретному ключу это значение выглядит как абсолютно случайное, что делает его идеальным источником энтропии для генерации смещений параметров модели. В рамках LLM, VRF используется для создания уникального сдвига весов модели.

Использование LoRA позволяет внедрять такие изменения без необходимости полного переобучения модели.

Исследование

Для проверки того, что внедрение LoRA-адаптеров, параметризованных через VRF-смещение, не нарушает поведение модели и не ухудшает её способности к генерации, было проведено небольшое исследование. В качестве базовой модели была использована `tiuae/falcon-7b-instruct`, дообученная на подмножестве датасета OpenWebText с использованием механизма LoRA.

Методика

Базовая модель была протестирована на стандартном текстовом корпусе для расчета perplexity [7]. Далее был применен модифицированный LoRA-адаптер, в котором веса `lora_A` модифицировались со сдвигом, генерируемым VRF функцией.

Таблица

Сравнительная характеристика оригинальной и дообученной моделей

Модель	Тип адаптера	Perplexity
Falcon-7B-Instruct (tiuae/falcon-7b-instruct)	Без дообучения	16.99
Falcon-7B-Instruct + LoRA VRF сдвиг	Дообучение с VRF LoRA	8.88

Перплексити после внедрения LoRA-адаптера значительно снизилось – с 16.99 до 8.88, что говорит о повышении качества генерации, либо о более точной адаптации модели или небольшом переобучении. При этом структура модели остается неизменной.

Заключение и перспективы

Предложенный подход, основанный на сочетании криптографической функции VRF и легкой донастройки модели через LoRA, демонстрирует высокую потенциальную эффективность как средство динамической защиты. Такой метод делает поведение модели непредсказуемым и изменчивым для атакующего, при этом оставаясь стабильным и управляемым для пользователя.

В перспективе данная схема может быть расширена за счет интеграции распределенной генерации ключа и применения алгоритма DVRF [8], что, конечно, повысит вычислительную нагрузку на систему, но добавит дополнительный слой безопасности за счет мер, направленных на предотвращение компрометации секретного ключа.

Список литературы

1. Vaswani A. Attention Is All You Need // Conference on Neural Information Processing. 2017. doi: 10.48550/arXiv.1706.03762
2. Goldberg S. Verifiable random functions (VRFs) // IETF Internet Draft. URL: <https://www.ietf.org/archive/id/draft-irtf-cfrg-vrf-10.html>
3. Edward J. Hu [et al.]. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models // Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Representations. 2021. doi: 10.48550/arXiv.2106.09685
4. Xingang Guo [et al.]. COLD-Attack: Jailbreaking LLMs with Stealthiness and Controllability // Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning (ICML). 2024. doi: 10.48550/arXiv.2402.08679
5. Qin L., Welleck S., Khashabi D., Choi Y. Cold decoding: Energy-based constrained text generation with langevin dynamics // Advances in Neural Information Processing Systems. 2022. № 35. P. 9538–9551. doi: 10.48550/arXiv.2202.11705
6. Zou A., Wang Z., Carlini N. [et al.]. Universal and Transferable Adversarial Attacks on Aligned Language Models. 2023. doi: 10.48550/arXiv.2307.15043
7. Zhang Y., Yang Z. A Perplexity and Menger Curvature-Based Approach for Similarity Evaluation of Large Language Models. 2025. doi: 10.48550/arXiv.2504.04216
8. Velichko I., Vanurin S., Afanasyeva A. [et al.]. Distributed Pseudorandom Generation Protocol Based on VRF Algorithm // 2023 3rd Intelligent. Cybersecurity Conference. 2023. doi: 10.1109/ICSC60084.2023.10349973

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСОБЫХ ТОЧЕК НА СНИМКАХ ВИДЕОРЯДА

Илья Анатольевич Жилин¹, Сергей Васильевич Коробков²,
Александр Алексеевич Кузьмин³, Кирилл Игоревич Пученков⁴

^{1,2,3,4}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

^{1,2,3}kstu-bmi@yandex.ru

⁴k.puchenkov@mail.ru

Аннотация. Для повышения точности определения координат особых точек на смежных снимках видеоряда предложено использовать агрегированную особую точку, позволяющую получать дополнительные особые точки с использованием дополненной реальности. Такой подход создает несколько каналов формирования дескрипторов и использует соответствующие им обучаемые классификаторы для реализации технологии бустинга.

Ключевые слова: особые точки типов «blob» и «угол», динамические окна, дескрипторы, классификатор

MULTICHANNEL CLASSIFIERS IN INTELLIGENT SYSTEMS FOR IDENTIFICATION OF SPECIAL POINTS IN VIDEO IMAGES

Ilya A. Zhilin¹, Sergey V. Korobkov², Alexander A. Kuzmin³,
Kirill I. Puchenkov⁴

^{1,2,3,4}South-West State University, Kursk, Russia

^{1,2,3}kstu-bmi@yandex.ru

⁴k.puchenkov@mail.ru

Abstract. To improve the accuracy of determining keypoint coordinates in adjacent video sequences, we propose using an aggregated keypoint, which allows for the acquisition of additional keypoints using augmented reality. This approach creates multiple descriptor generation channels and utilizes the corresponding trainable classifiers to implement boosting technology.

Keywords: blob and corner keypoints, dynamic windows, descriptors, classifier

Одной из важных задач в системах компьютерного зрения является обнаружение аномальных объектов или особых точек

(ОТ) на изображениях и видеопоследовательностях. Эта задача является достаточно сложной и трудоемкой вследствие обработки больших объемов графической информации, но получила широкое распространение [1, 2].

При анализе и классификации последовательностей снимков видеоряда обычно имеют дело с ОТ типа блоб (пятно). В настоящее время известно множество различных подходов к поиску блобов [3]. Однако, по мере развития современных технологий в робототехнике, БПЛА и медицине, ужесточаются требования к точности и оперативности принятия решений, поэтому методы классификации блобов требуют дальнейшего совершенствования.

При работе с блобами необходимо решить две задачи:

- 1) выбор самого блоба;
- 2) поиск блоба на снимках видеоряда – синтез дескрипторов и детекторов блобов [4–6].

В данной работе остановимся на решении второй задачи, полагая, что сам блоб уже выбран.

Чтобы найти особую точку на снимке необходимо априорно определить характеристику ее уникальности и размеры. Для этого широко используют корреляционные методы [3]. По определению ОТ должна выделяться на снимке своими уникальными характеристиками, из которых основной является ее яркость. Однако на снимке может быть множество сегментов с высокой яркостью, что вызывает необходимость выбора или оптимизации [3].

Чаще всего форма блоба имеет неизвестную априорно ориентацию, поэтому для определения ее дескрипторов используют структурную схему (рис. 1), которая содержит четыре канала, формирующих дескрипторы для четырех слабых обучаемых классификаторов.

Адаптивные фильтры позволяют сформировать несколько векторов дескрипторов, и сформировать многоканальный классификатор. Агрегация решений этих классификаторов позволяет как повысить точность классификации блоба, так и отстроиться от ряда помех, приводящих к ошибочной классификации. Однако использование адаптивной фильтрации не приводит к окончательной отстройке от ложноположительных результатов, что требует дальнейшего совершенствования алгоритмов классификации [3].

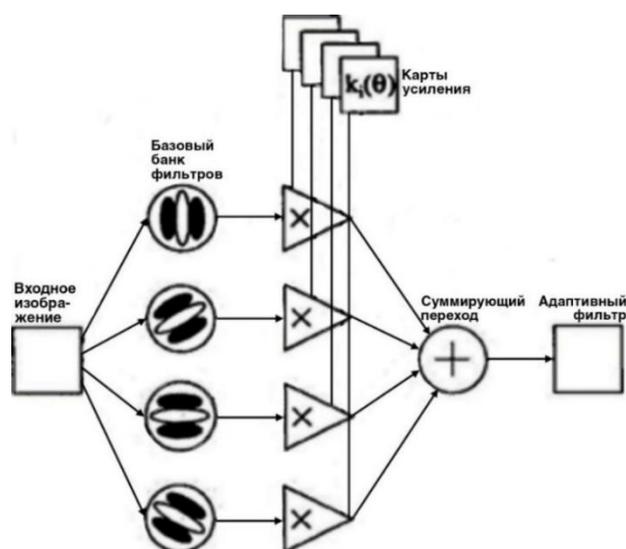


Рис. 1. Структурная схема для определения дескрипторов особой точки блоб

Для повышения надежности идентификации блоба сформируем ОТ, включающую три ОТ, не лежащих на одной прямой, которую назовем агрегированной особой точкой (АОТ). На рис. 2 показана такая ОТ, представленная на двух сдвинутых снимках, и состоящая из трёх блобов, образующих треугольники ABC и $A_1B_1C_1$. Построив треугольник на основе трех блобов, получим еще три ОТ типа «угол». В этом случае углы треугольника, а, следовательно, и дескрипторы особых точек, будут инвариантны к таким геометрическим преобразованиям, как параллельный перенос, вращение и масштабирование.

Сформировать ОТ типа «угол» на АОТ можно различными способами, например, путем ввода дополненной реальности в виде бинарного треугольника-эталона. Зная расстояние между смежными снимками, проводим трансформацию треугольника-эталона с учетом текущих координат особых точек, с последующим наложением его на реальный снимок, полученный в текущих координатах.

Сформировав АОТ в виде треугольника, получаем дополнительные ОТ типа «угол», а также дополнительные ОТ типа блоб внутри периметра треугольника ABC , координаты которых априорно известны из предшествующего снимка. В качестве таких точек можно использовать либо координаты центра вписанной в треугольник окружности, либо координаты центра тяжести треугольника [3].

щихся координатами вершин треугольника. Для поиска особых точек на снимках видеоряда, предложен двухэтапный метод бустинга. На первом этапе определяется область ROI, соответствующая первому сканирующему снимку окну. На втором этапе, посредством многоканальных классификаторов и технологии бустинга, определяются особые точки в вершинах треугольника АОР.

Список литературы

1. Filist S., Riad Taha Al-Kasasbeh, Tomakova R. A. [et al.]. Automated system for classifying images of video streams for timely detection of fires // International journal of remote sensing. 2024. doi: 10.1080/01431161.2024.2398818

2. Горбачев И. Н., Томакова Р. А., Коробков С. В. Методы и алгоритмы идентификации особых точек на снимках, полученных с бортового фотовидеорегистратора беспилотного летательного аппарата // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 1. С. 91–116.

3. Томакова Р. А., Филист С. А., Брежнева А. Н. [и др.]. Метод и алгоритм автономного планирования траектории полета беспилотного летательного аппарата при мониторинге пожарной обстановки в целях раннего обнаружения источника возгорания // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 1. С. 93–110. doi: 10.21869/2223-1536-2023-13-1-93-110

4. Филист С. А., Шевцов М. В., Белозеров В. А. [и др.]. Автоматизированная система для классификации снимков видеопотоков // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 85–105.

5. Filist S., Al-Kasasbeh R. T., Tomakova R. A. [et al.]. An unmanned aerial vehicle autonomous flight trajectory planning method and algorithm for the early detection of the ignition source during fire monitoring // International Journal of Remote Sensing. 2024. Vol. 45, № 12. P. 4178–4197. doi: 10.1080/01431161.2024.2358451

6. Филист С. А., Томакова Р. А., Горбачев И. Н. [и др.]. Интеллектуальная система обработки изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 4. С. 64–85. doi: 10.21869/2223-1536-2022-12-4-64-85

СИСТЕМА ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОТ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Никита Андреевич Киреев¹, Кирилл Русланович Антонов²,
Владимир Викторович Дрождин³

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹kireevn357@gmail.com

²ekx322@gmail.com

³drozhdin@yandex.ru

Аннотация. Представлено решение задачи надежной потоковой передачи данных от носимых инерциальных измерительных модулей (IMU) в веб-приложение в режиме реального времени. Основным транспортным протоколом выбран Bluetooth Low Energy, который широко применяется в медицинских и спортивных устройствах благодаря низкому энергопотреблению, но обладает ограничениями по размеру пакета и устойчивости соединений. Для решения указанных проблем разработана программная система Bluetooth Low Energy WebSocket, обеспечивающая одновременную работу нескольких IMU-устройств. В основе реализации лежит протокол фрагментации и реасемблирования кадров по паре (source_id, seq), что позволяет устранить коллизии последовательных номеров при параллельной передаче. Для контроля целостности используется алгоритм CRC32, а для устойчивости соединений реализован механизм переподключений с экспоненциальным backoff. Система дополнена диагностическим каналом, позволяющим мониторить метрики потерь и задержек. Экспериментальные испытания подтвердили, что предложенное решение обеспечивает стабильный сбор данных при частоте дискретизации до 200 Гц с минимальными задержками и автоматическим восстановлением после обрывов соединения. Разработанный мост может применяться в задачах цифровой медицины, спортивной аналитики и биомеханических исследований.

Ключевые слова: Bluetooth Low Energy, WebSocket, IMU, потоковая передача, фрагментация и реасемблирование кадров, CRC32

DATA STREAMING SYSTEM FROM INERTIAL MODULES

Nikita A. Kireev¹, Kirill R. Antonov², Vladimir V. Drozhdin³

^{1,2,3}Penza State University, Penza, Russia

¹kireevn357@gmail.com

²ekx322@gmail.com

³drozhdin@yandex.ru

Abstract. A solution for reliable real-time data streaming from wearable inertial measurement units (IMUs) to a web application is presented. Bluetooth

Low Energy, widely used in medical and sports devices due to its low power consumption, is chosen as the primary transport protocol. However, it has limitations in packet size and connection stability. To address these issues, a Bluetooth Low Energy WebSocket software system was developed, enabling the simultaneous operation of multiple IMUs. The implementation is based on a protocol for fragmenting and reassembling frames by pair (source_id, seq), eliminating sequence number collisions during parallel transmission. A CRC32 algorithm is used for integrity monitoring, and a reconnection mechanism with exponential backoff is implemented for connection stability. The system is supplemented with a diagnostic channel for monitoring loss and latency metrics. Experimental tests confirmed that the proposed solution ensures stable data collection at a sampling rate of up to 200 Hz with minimal latency and automatic recovery from connection interruptions. The developed bridge can be used in digital medicine, sports analytics, and biomechanical research.

Keywords: Bluetooth Low Energy, WebSocket, IMU, streaming, fragmentation and reassembly of frames, CRC32

Использование носимых сенсорных устройств для мониторинга двигательной активности человека активно развивается в медицине, спорте и биомеханике [1]. Одним из основных компонентов таких систем является инерциальный измерительный модуль (IMU), позволяющий регистрировать ускорения и угловые скорости и тем самым получать данные о движениях организма. При проектировании подобных решений возникает проблема надежной передачи больших объёмов информации в реальном времени по каналам связи с ограниченной пропускной способностью.

Для передачи данных от носимого устройства к компьютеру или смартфону удобно используется протокол Bluetooth, например, для передачи сигнала ЭКГ [2]. Bluetooth Low Energy (BLE) [3] является наиболее распространенным протоколом для таких систем благодаря низкому энергопотреблению и широкой поддержке мобильными устройствами. Однако BLE обладает рядом ограничений: малым размером передаваемых пакетов, вероятностью потерь и дублирования уведомлений, а также нестабильностью соединений при помехах. Особенно остро эти проблемы проявляются при работе с несколькими IMU-устройствами одновременно, когда возрастают риски коллизий последовательных номеров кадров и снижается надежность канала.

Целью данной работы являются разработка и экспериментальная проверка программной системы передачи данных, исполь-

зующей стек протоколов BLE и WebSocket [4] и способной обеспечить стабильный сбор данных от нескольких IMU-устройств и их надежную передачу в веб-приложение. Предлагаемое решение поддерживает протокол фрагментации кадров, контроль целостности информации и механизмы устойчивости к обрывам соединений.

Методы

В качестве аппаратной основы использовались носимые устройства T-Watch, оснащенные микроконтроллером ESP32 [5] и трехосевым акселерометром. Регистрация ускорений проводилась по осям X, Y и Z с частотой дискретизации 50–200 Гц. Полученные значения группировались в кадры, включающие заголовок размером 32 байта, полезную нагрузку и контрольную сумму CRC32 [6]. Такой формат позволял контролировать целостность информации и предотвращать использование искаженных данных.

Поскольку максимальный размер MTU в BLE составляет менее 200 байт, каждый кадр подвергался фрагментации. Фрагменты снабжались служебным заголовком с магическим числом, порядковым номером и длиной полезной нагрузки. На принимающей стороне выполнялось реассемблирование, при котором данные собирались в исходный кадр. Ключом идентификации служила пара (адрес устройства, номер последовательности), что позволило устранить коллизии при параллельной работе нескольких IMU.

Программная архитектура системы реализована на языке Python [7] с использованием асинхронной библиотеки Bleak [8] для взаимодействия с BLE и пакета websockets для сетевой передачи. Архитектура включала несколько параллельных задач: приём фрагментов от IMU, их восстановление и проверку CRC32, а также трансляцию собранных кадров клиентам через WebSocket. Для удобства работы были предусмотрены три канала: /ws/json для передачи данных в структурированном виде, /ws/bin для отправки бинарных кадров и /ws/diag для диагностической информации.

Для повышения устойчивости был реализован менеджер переподключений. В случае обрыва соединения система выполняла повторные попытки с экспоненциальным увеличением задержки и случайным джиттером. При отсутствии данных более десяти секунд отправлялась команда PING, позволяющая определить состояние канала. Все события фиксировались в диагностических логах, что обеспечивало контроль процесса работы системы.

Результаты

В ходе экспериментальных испытаний было подтверждено, что разработанная система обеспечивает стабильный сбор и передачу данных от нескольких IMU-устройств. Использование контрольной суммы CRC32 позволило полностью исключить ошибки искажений при передаче. Реассамблинг по паре (адрес устройства, номер последовательности) устранил проблему коллизий и обеспечил корректное восстановление кадров при параллельной работе четырёх устройств.

Средняя задержка доставки кадров от момента приема первого фрагмента до передачи по WebSocket не превышала 20 мс. Доля потерянных кадров при работе в условиях помех составила менее 1 %. Время восстановления соединения после обрыва не превышало 5 с. При работе в режиме максимальной нагрузки нагрузка на центральный процессор не превышала 30 %, что подтверждает возможность масштабирования системы.

Заключение

Разработанная программная система BLE WebSocket позволяет превратить носимые устройства T-Watch в полноценные модули сбора инерциальных данных с возможностью передачи в веб-приложение в режиме реального времени. Использование бинарного протокола с поддержкой фрагментации и контроля целостности на основе CRC32 обеспечило минимизацию потерь и высокую надежность передачи.

Эксперименты показали, что система устойчива к обрывам, автоматически восстанавливает соединения и способна работать с несколькими устройствами одновременно. Это делает её перспективной для применения в биомеханических исследованиях, спортивной науке и медицинской диагностике.

Перспективным направлением дальнейших исследований является внедрение синхронизации времени между устройствами, повышение производительности на компилируемых языках и интеграция собранных данных в датасеты для машинного обучения или автоматического распознавания активности человека.

Список литературы

1. Кузьмин А. В., Иващенко А. В., Рябова Е. П. Биомедицинские применения акселерометров: общие направления и публикационные тренды // Медицинская техника. 2023. № 4. С. 52–55.

2. Kuzmin A., Safronov M., Bodin O. [et al.]. Mobile heart monitoring system prototype based on the Texas instruments hardware: Energy efficiency and J-point detection // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. 2016. Vol. 7, № 1. P. 64-84. doi: 10.4018/IJERTCS.2016010104 EDN: YVFXPV
3. Afaneh M. Bluetooth Low Energy (BLE): A Complete Guide. 2022. 6 September. URL: <https://novelbits.io/bluetooth-low-energy-ble-complete-guide/> (дата обращения: 10.09.2025).
4. MDN Web Docs The WebSocket API (WebSockets). 2025. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebSockets_API (дата обращения: 12.09.2025).
5. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. URL: <https://www.espressif.com> (дата обращения: 10.09.2025).
6. Russell S. Chorba: A novel CRC32 implementation. doi: 10.48550/arXiv/2412.16398
7. Python About Python. 2025. URL: <https://www.python.org/about/> (дата обращения: 10.09.2025).
8. Read the Docs bleak. 2025. URL: <https://bleak.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 12.09.2025).

ВЫБОР СМЕШИВАЮЩИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ СЕЧЕНИЙ

Юрий Николаевич Косников¹, Динар Рашидович Абубекеров²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹kosnikov@gmail.com

²ofjordan@yandex.ru

Аннотация. Реконструкция пространственных поверхностей по облаку опорных точек выполняется интерполяционными методами. Описание многих поверхностных интерполянтов характеризуется громоздкостью, а их применение требует больших временных затрат. Предлагается модифицированный метод параметрической интерполяции на основе криволинейных сечений, проходящих через опорные точки. Каждая опорная точка становится центром смешивающей функции, действующей вдоль линии сечения. Применение сечений значительно упрощает вид интерполянта. Производительность интерполяции повышается с помощью табличных вычислений, для чего вводится целочисленная параметризация опорных точек. Показано несколько разновидностей модифицированных смешивающих функций, для них оценены погрешности интерполяции тестовой кривой.

Ключевые слова: поверхность, интерполяция, сечение, смешивающая функция, опорная точка, целочисленная параметризация, табличные вычисления

SELECTION OF BLENDING FUNCTIONS FOR RECONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF SURFACE BASED ON CURVED SECTIONS

Yuri N. Kosnikov¹, Dinar R. Abubekеров²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹kosnikov@gmail.com

²ofjordan@yandex.ru

Abstract. Reconstruction of spatial surfaces based on a cloud of reference points is performed using interpolation methods. The description of many surface interpolants is cumbersome, and their application requires a lot of time. A modified

parametric interpolation method based on curved sections passing through reference points is proposed. Each reference point becomes the center of a mixing function acting along the section line. The use of cross sections greatly simplifies the appearance of the interpolant. The performance of interpolation is improved by using tabular calculations, for which an integer parameterization of reference points is introduced. Several varieties of modified mixing functions are shown, and the interpolation errors of the test curve are estimated for them.

Keywords: surface, interpolation, section, blending function, reference point, integer parameterization, table calculations

Актуальной задачей визуализации пространственных объектов является построение поверхности по набору характерных (опорных) точек, заданных своими декартовыми координатами. В этом случае применяются интерполяционные методы моделирования. Интерполяция поверхности по скалярному полю востребована в таких предметных областях, как геоинформатика, автоматизированное проектирование, цифровизация научных исследований, эхолокация, прокладка коммуникаций, когнитивная графика и др.

Хорошими формообразующими свойствами обладают интерполянты на основе смешивающих функций (СФ), в частности, радиальные базисные функции (РБФ). РБФ-интерполяция дает гладкую поверхность, точно проходящую через опорные точки. Если реконструируется протяженная поверхность, она может состояться из сегментов ограниченного размера. При этом каждый сегмент может проходить через большое количество опорных точек, в результате число сегментов протяженной поверхности по сравнению, например, со сплайн-интерполяцией уменьшается в несколько раз. Свойства РБФ широко представлены в литературе, например, в [1, 2]. Однако РБФ-интерполяция имеет свои сложности. На практике, в основном, применяется общая форма описания интерполянта, которая работает с неупорядоченными точками облака. В этом случае для получения поверхности требуются ресурсоемкие алгоритмы катящегося шара [3], триангуляции [4], реконструкции Пуассона [5]. РБФ-интерполяция зачастую показывает осцилляции рельефа поверхности в пределах коротких расстояний между опорными точками. Матрица коэффициентов системы линейных алгебраических уравнений, которую нужно решать при РБФ-интерполяции, может быть плохо обусловленной, тогда надо принимать специальные меры для улучшения обусловленности.

Исходными данными для интерполяции поверхности является множество неупорядоченных опорных точек. Многие проблемы интерполяции можно снять выделив в нем подмножества, для которых интерполянт является однозначной функцией. Методы подразбиения облака точек на ограниченные подмножества активно прорабатываются в течение ряда лет, что отражено, например, в публикациях [6, 7, 8]. Возникающая при этом задача сопряжения сегментов реконструированной поверхности решается с помощью пересечения подмножеств опорных точек, относящихся к соседним сегментам [9-12]. Если подмножество опорных точек успешно выделено, на них можно построить интерполянт, записав его в явной форме: $z = f(x, y)$.

Реконструируемая поверхность, зачастую, описывается сотнями и тысячами опорных точек. Интерполяционные выражения в этом случае получаются громоздкими и ресурсоемкими. Для оптимизации вычислений можно применить формирование поверхности на основе сечений. Такой подход применялся в прошлом и применяется в настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом [13–18]. Он может быть применен при решении задач визуализации, так как графическая система компьютера использует полигональную модель отображаемой поверхности, которая получается разными средствами. В том числе, полигональная модель может быть получена расстановкой точек на кривых, принадлежащих поверхности, и построением на этих точках как на вершинах плоских полигонов средствами графической библиотеки.

Дальнейшую оптимизацию интерполяционных вычислений можно получить, используя быстрые методы, например, табличные вычисления. Значения СФ вычисляются заранее с некоторым шагом (табулируются) и заносятся в память графической системы. При изменении аргумента его значение используется в качестве адреса памяти. Результат вычисления получается за одно обращение к памяти. Такой прием возможен, если аргумент СФ принимает целочисленные значения. Для этого можно применить параметрическую интерполяцию с целочисленным отсчетом параметра. Вводятся вспомогательные параметрические координаты u , v , которые расположены в плоскости xu , но имеют целочисленные значения. Координатные линии вспомогательной системы координат (СК) проводятся так, что проекции опорных точек на плоскость аргументов попадают в узлы координатной сетки. Можно

образно представить, что координатные линии x и y с целочисленными значениями координат искривляются, чтобы пройти через опорные точки, и превращаются в координатные линии u, v , как это показано на рис. 1. На нем RP – опорные точки (reference point), а CP – проекция текущей точки (current point) на плоскость аргументов.

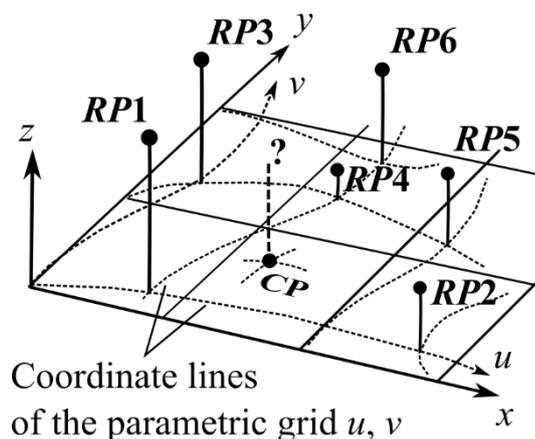


Рис. 1. Перевод опорных точек из декартовой системы координат в параметрическую

Для i -й опорной точки вспомогательные координаты находятся следующим образом:

$$u_i = \left[U \frac{x_i}{x_{max}} \right], v_i = \left[V \frac{y_i}{y_{max}} \right],$$

где квадратные скобки – символ округления до ближайшего целого, а U и V – максимальные целочисленные значения параметров. Значения U и V выбираются, исходя из желаемой детальности реконструируемой поверхности, так как в дальнейшем они определяют количество полигонов по направлениям поверхности.

Теперь можно выполнить сортировку опорных точек по параметрическим координатам и установить отношение порядка между ними. В итоге каждая опорная точка получает пять координат: две параметрические и три декартовы. Точки с одинаковой координатой v принадлежат одной координатной линии u , то есть являются точками криволинейного сечения реконструируемой поверхности. В случае применения составных криволинейных сечений интерполянт будет описывать сегмент сечения и может

быть записан в параметрической форме как три функции одного параметра u :

$$x = f_1(u), y = f_2(u), z = f_3(u),$$

где $f_1(u), f_2(u), f_3(u)$ – зависимости, включающие смешивающие функции.

На этапе интерполяции в исходной декартовой СК находятся промежуточные точки поверхности, которые затем принимаются за вершины полигональной сетки. Для этого с некоторым шагом организуется перебор значений u_i в диапазоне $i = (0..U)$ для $v_j = \text{const}$ ($v_j = 0..V$). Для каждого сочетания u, v по интерполяционным выражениям находятся три декартовы координаты.

Предлагается модифицированный метод РБФ-интерполяции, в котором каждая опорная точка становится центром СФ, но вместо смешивающих функций радиального базиса используются смешивающие функции, действующие вдоль линии сечения, как это предложено в [19]. Другими словами, они действуют вдоль параметрической координатной линии, поэтому их можно назвать координатно-линейными смешивающими функциями (КЛСФ).

Общий вид записи КЛСФ i -й опорной точки:

$$bf(r_{ui}) = bf_i = \begin{cases} bf_i & \text{при } r_{ui} < r_{u\max}, \\ 0 & \text{при } r_{ui} \geq r_{u\max}, \end{cases} \quad r_{ui} = |u - u_i|, \quad (1)$$

где u – параметрическая координата текущей точки;

u_i – параметрическая координата i -й опорной точки;

r_{ui} – удаление текущей точки от i -й опорной точки по координате u ;

$r_{u\max}$ – половина зоны влияния КЛСФ вдоль координаты u (половина зоны влияния берется потому, что зона влияния простирается по координатной линии в обе стороны от опорной точки);

bf_i – значение смешивающей функции.

Применение КЛСФ дает интерполянт вида:

$$\begin{aligned} x &= \sum_{i=1}^N \lambda_{xi} bf(r_{ui}), \\ y &= \sum_{i=1}^N \lambda_{yi} bf(r_{ui}), \\ z &= \sum_{i=1}^N \lambda_{zi} bf(r_{ui}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\lambda_{xi}, \lambda_{yi}, \lambda_{zi}$ – коэффициенты влияния i -й опорной точки на текущую точку по декартовым координатам;

N – количество опорных точек поверхности объекта, участвующих в вычислениях.

Коэффициенты влияния $\lambda_{x,y,z}$ определяют вес опорной точки в интерполянте. Нахождение этих коэффициентов выполняется, как и при использовании РБФ, из условия точного прохождения поверхности (в данном случае – сечения поверхности) через опорные точки отдельно по координатам x , y и z . Для этого на основе каждого из уравнений (2) составляется система из N линейных алгебраических уравнений. Каждое из этих уравнений является условием прохождения поверхности через определенную (k -ю) опорную точку по своей координате:

$$\begin{aligned}x_k &= \sum_{i=1}^N \lambda_{xi} bf(r_{ui-k}), k = 1, \dots, N, \\y_k &= \sum_{i=1}^N \lambda_{yi} bf(r_{ui-k}), \\z_k &= \sum_{i=1}^N \lambda_{zi} bf(r_{ui-k}), \\r_{ui-k} &= |u_k - u_i|,\end{aligned}$$

где r_{ui-k} – параметрическое расстояние между i -ой и k -ой опорными точками в направлении координаты u .

Решение каждой системы уравнений любым известным методом дает набор соответствующих коэффициентов влияния.

Спектр КЛСФ, которые могут быть применены в интерполянте, весьма широк. Они могут быть получены путем приведения известных РБФ к виду (1) или синтезированы, исходя из выдвинутых требований. Специалистами создано несколько десятков различных РБФ. Для снижения вычислительных затрат в РБФ-интерполяции применяют так называемые СФ с компактной поддержкой (compactly supported radial basis functions), которые имеют ограниченную область влияния. По аналогии можно ввести локализованные в пространстве КЛСФ. Для них расстояния между ядром СФ и текущей точкой имеют вид:

$$r_{ui} = \frac{|u-u_i|}{r_{u\max}},$$

а сама КЛСФ записывается в форме

$$bf(r_{ui}) = bf_i = \begin{cases} bf_i & \text{при } r_{ui} < 1, \\ 0 & \text{при } r_{ui} \geq 1. \end{cases} \quad (3)$$

В табл. 1 приведено несколько КЛСФ, полученных модификацией компактно поддерживаемых РБФ Гаусса (Gauss), Вендланда (Wendland) [20], Буманна (Buhmann) [21], Ву (Wu) [22], Менандро (Menandro) [23].

Разновидности РБФ и полученные из них КЛСФ

№	Автор РБФ	РБФ	КЛСФ
1	Вендланд	$(1 - r)^3(3r + 1)$	$(1 - r_u)^3(3r_u + 1)$
2	Буманн	$1/3 + r^2 - (4/3)r^3 + 2r^2 \log r$	$3(1/3 + r_u^2 - (4/3)r_u^3 + 2r_u^2 \log r_u)$
3	Ву	$(1 - r)^2(2 + r)$	$0,5(1 - r_u)^2(2 + r_u)$
4	Менандро	$-6/(1 + r^4) + 8/(1 + r^3) - 1$	$(-6/(1 + r_u^4) + (8/(1 + r_u^3)) - 1)$
5	Функция Гаусса	e^{-r^2}	$e^{-\varepsilon(r_u)^2}$ $\varepsilon \geq 1$ - коэффициент формы

Символ r в табл. 1 обозначает для РБФ декартово расстояние между опорной и текущей точками, символ r_u в КЛСФ обозначает параметрическое расстояние между этими точками.

Для синтеза новой КЛСФ нужно наложить ограничения на значимые параметры функции. К ним, прежде всего, относятся вид функции, ее максимальное значение и связанное с ним значение первой производной, а также граница области влияния КЛСФ и значение первой производной на этой границе. Например, можно предложить полиномиальную КЛСФ со следующими параметрами: степень полинома равна 3, максимальное значение в точке $r_{ui} = 0$ равно 1, первая производная в этой точке равна 0, область влияния КЛСФ в направлении параметра может быть разной: $r_{u\max} = r_{\max}$, значение функции на границе влияния и далее равно 0, первая производная на границе области влияния равна 0. Запись КЛСФ в виде кубического полинома и запись его первой производной имеют вид

$$bf(r_{ui}) = a \left(\frac{r_{ui}}{r_{\max}} \right)^3 + b \left(\frac{r_{ui}}{r_{\max}} \right)^2 + c \frac{r_{ui}}{r_{\max}} + d, \quad (4)$$

$$\dot{bf}(r_{ui}) = \frac{3a}{r_{\max}} \left(\frac{r_{ui}}{r_{\max}} \right)^2 + \frac{2b}{r_{\max}} \left(\frac{r_{ui}}{r_{\max}} \right) + \frac{c}{r_{\max}},$$

Коэффициенты a, b, c, d находятся с учетом указанных ограничений:

$$bf(r_{ui} = 0) = d = 1, \dot{bf}(r_{ui} = 0) = \frac{c}{r_{\max}} = 0, \text{ откуда } c = 0,$$

$$bf(r_{ui} = r_{\max}) = a + b + 1 = 0, \dot{bf}(r_{ui} = r_{\max}) = \frac{3a}{r_{\max}} + \frac{2b}{r_{\max}} = 0,$$

откуда $a = 2, b = -3$. Подставив коэффициенты в (4), можно записать КЛСФ в форме кубической функции

$$bf_i = 1 - 3 \left(\frac{|u - u_i|}{r_{\max}} \right)^2 + 2 \left(\frac{|u - u_i|}{r_{\max}} \right)^3.$$

На рис. 2 показаны графики шести КЛСФ: пяти из табл. 1, обозначенных номерами строк таблицы, и шестой – кубической КЛСФ для случая $r_{\max} = 4$.

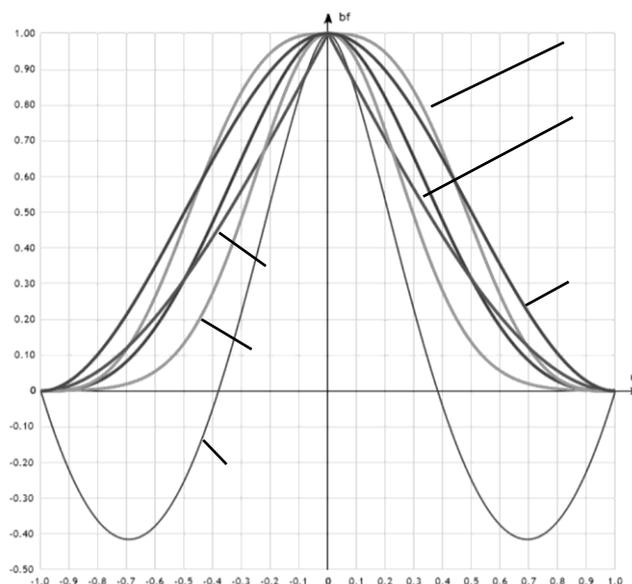


Рис. 2. Графики координатно-линейных смешивающих функций

Анализ рис. 2 показывает, что форма КЛСФ соответствует записи (3). Их интерполяционные возможности следует оценивать путем вычисления погрешностей интерполяции.

Погрешность реконструкции геометрических объектов с применением КЛСФ зависит от особенностей объектов (формы, плотности опорных точек) и особенностей СФ (вид функции, размеры области влияния СФ, настроечные коэффициенты). Исследование влияния этих особенностей на погрешность интерполяции – самостоятельная и объемная задача. В табл. 2 для демонстрации работоспособности КЛСФ приведены погрешности интерполяции тестовой кривой по выражениям (2) с применением нескольких КЛСФ. В качестве инструмента оценки погрешности использована зарегистрированная в Роспатенте программа [24]. Тестовая кривая имела участки различной кривизны.

Погрешности интерполяции тестовой кривой (в процентах) с применением различных интерполянтов

Вид СФ	Погрешность, %	Вид СФ	Погрешность, %
Модификация РБФ Вендланда	0.7228	Модификация РБФ Менандро	0.28761
Модификация РБФ Гаусса для $\varepsilon = 8$	0.52141	Модификация РБФ Буманна	0.56136
Модификация РБФ Ву	1.0504	Кубическая КЛСФ	0.20268
Сплайн Кэтмулла-Рома	0,23934		

Определялось нормализованное среднеквадратическое отклонение точек тестовой кривой от точек интерполянта $NRMSD$, приведенное к значению D диагонали декартовой области определения интерполянта:

$$D = \sqrt{(x_{\max} - x_{\min})^2 + (y_{\max} - y_{\min})^2},$$

Где x_{\min} , y_{\min} – минимальные, а x_{\max} , y_{\max} – максимальные значения декартовых координат области определения.

С учетом нормализации выражение для расчета погрешности интерполяции имеет вид:

$$NRMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{PN} ((x_{Ti} - x_{ii})^2 + (y_{Ti} - y_{ii})^2)}{PN((x_{\max} - x_{\min})^2 + (y_{\max} - y_{\min})^2)}} 100 \% .$$

Для сравнения с погрешностью КЛСФ определена погрешность интерполяции тестовой кривой с применением хорошо зарекомендовавшего себя на практике сплайна Кэтмулла-Рома.

Как видно из табл. 2 погрешность интерполяции с применением КЛСФ имеет тот же порядок, что и погрешность интерполяции с применением известного сплайна. В то же время алгоритм КЛСФ-интерполяции поверхности на основе криволинейных сечений с целочисленной параметризацией опорных точек гораздо проще в реализации и менее затратный, чем алгоритм интерполяции поверхностными отсеками.

Список литературы

1. Buhmann M. D. Radial Basis Functions: Theory and Implementations. Cambridge University Press, 2009. 272 p.

2. Cella U., Patrizi D., Porziani S. [et al.]. Radial Basis Functions Theory Background // Encyclopedia. URL: <https://encyclopedia.pub/entry/29056>
3. Bernardini F., Mittleman J., Rushmeier H., Silva C., Taubin G. The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 1999. Vol. 5, № 4. P. 349–359. doi: 10.1109/2945.817351
4. Su T., Wang W., Liu H. [et al.]. An adaptive and rapid 3D Delaunay triangulation for randomly distributed point cloud data // The Visual Computer. 2022. Vol. 38. P. 1–25. doi: 10.1007/s00371-020-02011-3
5. Maiti A., Chakravarty D. Performance analysis of different surface reconstruction algorithms for 3D reconstruction of outdoor objects from their digital images // Springerplus. 2016. Vol. 5 (1). P. 932. doi: 10.1186/s40064-016-2425-9
6. Tobor I., Reuter P., Schilck C. Efficient reconstruction of large scattered geometric datasets using the partition of unity and radial basis functions // Journal of WSCG. 2004. Vol. 12. P. 467–474. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7767701>
7. Torres C., Barba L. Fast radial basis function interpolation with Gaussians by localization and iteration // Journal of Computational Physics. 2009. Vol. 228. P. 4976–4999. doi: 10.1016/j.jcp.2009.03.007
8. Smolik M., Skala V. Efficient Speed-Up of Radial Basis Functions Approximation and Interpolation Formula Evaluation // ICCSA 2020 proceedings. 2020. Part I. P. 165–176. doi: 10.1007/978-3-030-58799-4_12
9. Chen D., Morse B. S., Lowekamp B., Yoo T. S. Hierarchically partitioned implicit surfaces for interpolating large point set models // Advances in Geometric Modeling and Processing. Proceedings of the 4th international conference on Geometric Modeling and Processing (GMP'06) (Pittsburgh, 26–28 Jul. 2006) / ed. by M.-S. Kim, K. Shimada. Pennsylvania : Lecture Notes in Computer Science, 2006. P. 4077 ; Berlin : Springer-Verlag, 2006. P. 553–562. doi: 10.1007/11802914_40
10. Cuomo S., Gallettiy A., Giuntay G., Staracey A. Surface Reconstruction from Scattered Point via RBF Interpolation on GPU // arXiv. 2013. URL: <https://arxiv.org/abs/1305.5179>
11. Хоанг Т. Х. Кусочно-аналитическое моделирование протяженных поверхностей с использованием радиальных базисных функций // Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук : материалы III науч.-практ. Всерос. конф. (школы-семинара) молодых ученых (24–25 апреля 2017 г.). Тольятти : Издатель Качалин Александр Васильевич, 2017. С. 616–620. EDN: ZDFKDN

12. Smolik M., Skala V. Large scattered data interpolation with radial basis functions and space subdivision // *Integrated Computer-Aided Engineering*. 2017. Vol. 25. P. 1–14. doi: 10.3233/ICA-170556
13. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве / ред. Бабенко Г. П. ; пер. с англ. Г. П. Бабенко, Г. П. Воскресенский. М. : Мир, 1982. 304 с.
14. Liu L., Bajaj C., Deasy J. [et al.]. Surface Reconstruction From Non-parallel Curve Networks // *Comput. Graph. Forum*. 2008. Vol. 27 (2). P. 155–163. doi: 10.1111/j.1467-8659.2008.01112.x
15. Vanek J., Jezek B., Milkova E. Terrain Reconstruction from Contour Lines // *Proceedings of the 3rd International conference on Applied Informatics and Computing Theory (AICT '12)*. 2012. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53472174>
16. Zou M., Holloway M., Carr N., Ju T. Topology-Constrained Surface Reconstruction From Cross-sections // *ACM Transactions on Graphics*. 2015. Vol. 34 (4). P. 128:1–128:10. doi: 10.1145/2766976
17. Rychenkova A., Klimenko E., Borodina L. Geometric Modeling and Quality Assessment of the Hull Frame Surface in Compass-3d CAD // *Russian Journal of Water Transport*. 2020. № 62. P. 81–90. doi: 10.37890/jwt.vi62.49
18. Чекалин А. А., Решетников М. К., Шпилев В. В. [и др.]. Моделирование архитектурной формы поверхностью зависимых сечений // *Строительство и техногенная безопасность*. 2021. № 20 (72). С. 53–58. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-arhitekturnoy-formy-poverhnostyu-zavisimyh-secheniy>
19. Косников Ю. Н., Абубекеров Д. Р. Визуализация плоских кривых с использованием смешивающих функций, действующих вдоль оси параметрической системы координат: альтернатива сплайнам // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2024. Т. 13, № 4 (68). С. 12–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=79508287> EDN: ENTGGS
20. Wendland H. Piecewise polynomial, positive defined and compactly supported radial functions of minimal degree // *Advances in Computational Mathematics*. 1995. Vol. 4, iss. 1. P. 389–396.
21. Buhmann M. A new class of radial basis functions with compact support // *Mathematics of Computation*. 2001. Vol. 70, № 233. P. 307–318. doi: 10.1090/s0025-5718-00-01251-5
22. Wu Z. Compactly supported positive definite radial functions // *Advances in Computational Mathematics*. 1995. Vol. 4. P. 283–292. doi: 10.1007/BF03177517

23. Menandro F. C. M. Two new classes of compactly supported radial basis functions for approximation of discrete and continuous data // Engineering Reports. 2019. Vol. 1. doi: 10.1002/eng2.12028

24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025684730 Российская Федерация. Программа геометрического моделирования и визуализации неаналитических кривых с применением смешивающих функций, действующих вдоль оси параметрической системы координат : № 2025682786 : заявл. 31 июля 2025 г. : опубл. (зарег.) 16 сентября 2025 г. / Ю. Н. Косников, Д. Р. Абубекеров ; заявитель ПензГУ. 1 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LEO-СИСТЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА К МОРСКИМ СУДАМ

Юрий Викторович Редькин

*Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова,
г. Новороссийск, Россия*

redkin_yura@mail.ru

Аннотация. Проанализированы особенности применения низкоорбитальных спутниковых систем для обеспечения широкополосного доступа к морским судам. Представлены оценки потерь на линии передачи «терминал – спутник» и приведены результаты ее практических испытаний. Показано, что судовой терминал способен обеспечить высокоскоростной обмен данными с береговыми центрами с небольшой задержкой, что позволяет реализовать непрерывный контроль судового оборудования во время плавания судов. Это позволяет повысить эффективность судоходства, его безопасность и обеспечить эффективное функционирование судового оборудования в любой точке мирового океана.

Ключевые слова: спутниковая система связи, терминал, затухание сигнала, задержка сигнала, широкополосный доступ

USING LEO SYSTEMS TO PROVIDE BROADBAND ACCESS TO SEA VESSELS

Yuri V. Redkin

Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

redkin_yura@mail.ru

Abstract. This paper analyzes the specifics of using low-orbit satellite systems to provide broadband access to maritime vessels. Estimates of terminal-to-satellite transmission line losses are presented, along with the results of practical tests. It has been demonstrated that the ship terminal is capable of providing high-speed data exchange with shore centers with low latency, which allows for continuous monitoring of ship equipment while vessels are sailing. This improves shipping efficiency and safety, and ensures the effective operation of vessel equipment anywhere on the oceans.

Keywords: satellite communication system, terminal, signal attenuation, signal delay, broadband access

Характерной чертой современного морского судоходства является интенсивный обмен судов с береговыми службами информацией о состоянии судна, экипажа, его груза и потребностях в обслуживании. Однако в настоящее время во многих случаях требуется как простой обмен данными между судном и береговым центром, так и передача видеоданных в реальном времени. Например, для реализации концепций электронного судовождения (e-Navigation) и автономного судовождения (a-Navigation) требуется организация непрерывной связи с морскими судами с высокой скоростью и малой задержкой доставки данных [1, 2].

Наиболее подходящими для организации широкополосного доступа к морским судам являются низкоорбитальные спутниковыми системы (Low Earth Orbit, LEO), способные обеспечить малую задержку сигналов вследствие низких орбит и высокую скорость передачи данных по высокочастотным каналам связи [3, 4]. Небольшая высота орбит спутников ограничивает зону и время видимости одного спутника судовым спутниковым терминалом. Однако, использование большой группировки спутников, постоянно находящихся на орбите, обеспечит практически полное покрытие поверхности мирового океана. Так в настоящее время группировка спутников Starlink включает около 8 тысяч космических аппаратов, вращающихся вокруг земли в разных плоскостях, что обеспечивает непрерывную связь судового терминала со спутниковой системой [5]. Спутники Starlink в зоне радиовидимости терминала находятся на небольшой высоте, поэтому антенные системы терминалов являются малогабаритными (например, 57,5×51,1×4,1 см у второго поколения). Благодаря этому, терминалы можно размещать даже на малотоннажных судах (морских яхтах и катерах) (рис. 1).



Рис. 1. Терминалы StarLink Maritime на морских судах

Морской терминал Starlink Maritime разработан специально для использования в суровых погодных условиях, широком диапазоне температур и при условии движения судна. Он использует технологию электронной фазированной антенной решетки и имеет углы обзора 140°. Кроме того, он оснащен механизмом автонаведения на рабочий спутник, что гарантирует непрерывное и стабильное соединение с одним из спутников группировки даже при волнении моря и маневрировании судна [6]. Эти терминалы прочные, водонепроницаемые и рассчитаны на эксплуатацию в суровых морских условиях, обеспечивая надежное взаимодействие судна с береговыми службами.

Терминал Starlink Maritime предназначен для использования на всех типах морских судов, включая торговые суда, нефтяные платформы и морские яхты. Его рекомендуют использовать для улучшения условий работы экипажей судов торгового флота, создания комфортной среды отдыха на круизных судах. На судах морского флота терминал может обеспечить непрерывную навигацию и обновление навигационных и метеорологических данных в режиме реального времени, а также контролировать большое число датчиков и устройств, отслеживая текущее состояние судового оборудования.

Основная группировка спутников Starlink находится на низких околоземных орбитах (примерно 550 км), но некоторые спутники могут находиться на орбитах от 540 км до 570 км. Низкие орбиты спутников и высокие частоты его каналов передачи данных делают Starlink Maritime привлекательным для приложений, требующих минимальной задержки и высокой скорости передачи данных. Для связи с наземными терминалами спутники Starlink второго поколения работают в разных диапазонах частот: Ku-диапазон (10,7–14,5 ГГц) – для связи между спутниками и терминалом; Ka-диапазон (17,8–30 ГГц) – ускоренный шлюз (gateway) с увеличенной пропускной способностью между спутниками и наземными станциями или абонентскими терминалами.

С целью оценки потерь на трассе передачи данных морской терминал – спутник воспользуемся формулой для расчета потерь в свободном пространстве (Free Space Path Loss, FSPL) [7]. Она позволяет оценить, насколько сигнал ослабляется при прохождении через пространство в зависимости от высоты орбиты спутника и центральной частоты канала связи:

$$FSPL = 20 \cdot \lg(h) + 20 \cdot \lg(f) + 20 \cdot \lg\left(\frac{4\pi}{c}\right),$$

где FSPL – потери в дБ; h – расстояние до спутника; f – центральная частота канала передачи; c – скорость света.

Результаты оценки потерь представлены на рис. 2. Из него следует, что низкие орбиты спутников компенсируют потери, связанные с использованием высокочастотных каналов передачи данных. Потери относительно невелики в Ku-диапазоне и возрастают на 5–7 дБ в Ka-диапазоне. Однако его применение позволяет существенно ускорить скорость обмена данными между судовым терминалом и спутником. Высота орбиты спутника при этом существенной роли не играет (в рассматриваемых диапазонах частот и высот).

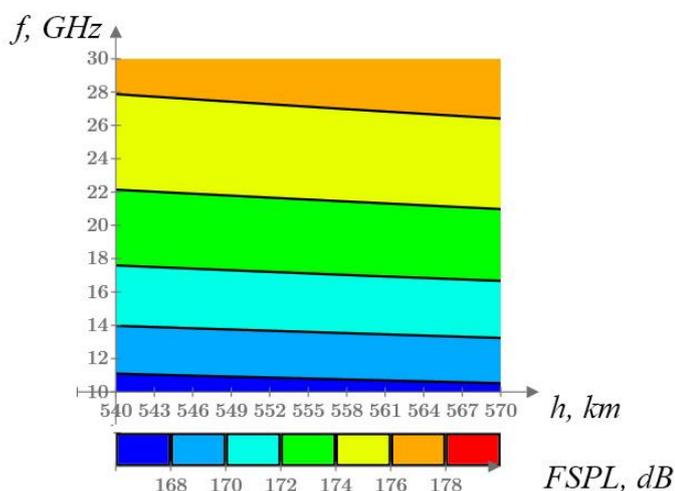


Рис. 2. Потери в канале передачи в зависимости от высоты орбиты спутника и частоты используемого канала связи

Реальная скорость передачи данных, которую обеспечивает терминал близка к заявляемой Starlink и зависит от множества факторов, таких как местоположение судна, расположения терминала на судне и погодных условий, в которых находится судно. Например, на ослабление сигнала большое влияние оказывают влажность воздуха: туман и дождь. При этом дополнительное ослабление радиосигнала вследствие погодных условий может составлять еще 5–20 дБ, приводя к временному ухудшению связи со спутником.

На рис. 3 представлены результаты тестирования канала связи береговой центр – терминал Starlink, находившегося на

борту судна в Атлантическом океане в районе 46° южной широты. Как видно из рисунка в этих условиях терминал Starlink Maritime обеспечивал передачу данных по нисходящей линии со скоростью 97,5 Мбит/с, а по восходящей – 94,6 Мбит/с с задержкой передачи (Ping) в 32 мс [8].



Рис. 3. Результаты тестирования канала связи терминала Starlink Maritime

Проведенные расчеты и практика использования Starlink Maritime показывают, что судовой терминал способен обеспечить прием и передачу информации между судном и береговым центром со скоростью порядка 100 Мбит/с и с задержкой 10–20 мс. Это позволяет не только поддерживать устойчивую связь с судном, но и непрерывно контролировать судовое оборудование в любой точке мирового океана.

Таким образом, можно считать ЛЕО-системы достаточно перспективными для обеспечения непрерывной широкополосной связи с морскими судами.

Список литературы

1. НД № 2-030101-037. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых судов (МАНС). СПб. : Российский морской регистр судоходства, 2020. 96 с.
2. Чернова А. И., Старжинская Н. В. Многокритериальный выбор системы технической эксплуатации средств обмена данными морского автономного надводного судна // Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 2-1 (64). С. 298–304. doi: 10.37220/МІТ.2024.64.2.034
3. Кукк К. И. Спутниковая связь: прошлое, настоящее, будущее. М. : Горячая линия-Телеком, 2017. 256 с.
4. Михайлов Р. Л. Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем спе-

циального назначения : монография. СПб. : Научные технологии, 2019. 150 с.

5. SpaceX Official Website. URL: <https://Starlink.com> (дата обращения: 21.09.2025).

6. Starlink для морского судоходства. URL: <https://www.starlink.com/business/maritime> (дата обращения: 21.09.2025).

7. Recommendation ITU-R P.525-2 Calculation of free-space attenuation. Geneva : International Telecommunication Union, 1994. 3 p.

8. Редькин Ю. В., Пакшина Е. Р., Макаревич Т. А. Перспективы применения LEO систем для телекоммуникации в рамках a-Navigation // Эксплуатация морского транспорта. 2025. № 2 (115). С. 102–109.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ SAR-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Алексей Владимирович Сенников¹,
Роман Васильевич Ларионов², Никита Алексеевич Сидоров³,
Владимир Вячеславович Хрящев⁴

*1,2,3,4Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
г. Ярославль, Россия*

¹alexseysennikov76@yandex.ru

^{2,3}dcslab@uniyar.ac.ru

⁴vhr@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются методы удаления спекл-шума на изображениях в радиодиапазоне. Исследуются улучшенный фильтр Ли, фильтр BM3D и нейросетевой алгоритм `sar_transformer`. Для оценки качества восстановленных изображений используются метрики PSNR, ENL и SMPI. Исследования показывают, что в задаче удаления спекл-шума наиболее подходящим алгоритмом является улучшенный фильтр Ли. Алгоритм `sar_transformer` лучше всего удаляет непосредственно спекл-шум, но при этом сильно сглаживает изображения.

Ключевые слова: спекл-шум, фильтрация шума, нейросетевой фильтр, оценка качества изображения

INVESTIGATION OF FILTRATION ALGORITHMS FOR SAR-IMAGES

Alexey V. Sennikov¹, Roman V. Larionov², Nikita A. Sidorov³,
Vladimir V. Khryashchev⁴

1,2,3,4P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹alexseysennikov76@yandex.ru

^{2,3}dcslab@uniyar.ac.ru

⁴vhr@yandex.ru

Abstract. The article considers methods of despeckling images. Such filters as the enhanced Lee filter, the BM3D filter and the `sar_transformer` neural network model are investigated. The PSNR, ENL and SMPI metrics are used to evaluate the quality of the reconstructed images. The enhanced Lee filter shows the best

results. The neural network algorithm `sar_transformer` removes speckle noise directly, but it also greatly smoothes the images.

Keywords: speckle noise, despeckling, neural network filter, image quality assessment

В настоящее время данные дистанционного зондирования земли применяются в различных областях, которые включают в себя задачи оценки лесной биомассы, управления сельскохозяйственными и природными ресурсами и предупреждение природных катастроф. Спутниковые данные в оптическом диапазоне не всегда подходят для подобных задач из-за зависимости от погодных условий. Поэтому широко используются радиолокационные спутниковые снимки, получаемые радаром с синтезированной апертурой (SAR, PCA), которые позволяют проводить анализ независимо от атмосферных факторов [1–3]. Однако такие изображения часто содержат высокий уровень шума, главным образом – спекл-шум, обусловленный особенностями обратного рассеяния сигнала [4].

Классическим методом решения этой задачи считается применение пространственных фильтров. В рамках этой работы используются такие алгоритмы, как улучшенный фильтр Ли и фильтр VM3D. В настоящее время активно применяются алгоритмы глубокого обучения, одним из которых является алгоритм `sar_transformer`.

Целью данной работы является исследование алгоритмов удаления спекл-шума с цифровых спутниковых изображений. Проведенное исследование позволит выработать рекомендации по использованию алгоритмов для фильтрации спекл-шума в задачах обработки SAR-изображений.

Описание алгоритмов фильтрации. Для удаления спекл-шума в этой работе используются пространственные фильтры: улучшенный фильтр Ли, VM3D и алгоритм глубокого обучения `sar_transformer`. Улучшенный фильтр Ли – это адаптивный фильтр для подавления спекл-шума, используемый при обработке радарных изображений [5]. VM3D – это алгоритм фильтрации шума на изображениях, основанный на групповом анализе похожих блоков изображения [6]. Алгоритм `sar_transformer` основан на архитектуре трансформеров [7].

Описание набора изображений. Для исследования алгоритмов фильтрации было использовано 2 тестовых изображения

размером 512 на 512 пикселей – «sapella_1» и «sapella_2». Данные изображения являются фрагментами радарного снимка со спутника Sapella с горизонтальной поляризацией и глубиной 16 бит.

Результаты моделирования. В ходе компьютерного эксперимента выбранные изображения были зашумлены с использованием модели спекл-шума. Для зашумления использовалась мультипликативная модель, в которой исходные данные умножаются на случайную величину с единичным математическим ожиданием. В данной работе случайная величина имела нормальное распределение. Математически использованную модель можно выразить так:

$$noised(x) = original(x) * S,$$

где noised – зашумленное изображение, original – исходное изображение; S – случайное распределение. Степень зашумления задавалась дисперсией нормального распределения. Все изображения были приведены к 8-битному формату и обработаны описанными выше фильтрами. Для каждого обработанного изображения рассчитывались метрики PSNR, ENL и SMPI. В табл. 1 приведены результаты тестирования: var – дисперсия, lee_enhanced – улучшенный фильтр Ли. Таблица содержит значения только для изображений с высокой степенью шума, поскольку при слабом шуме использование фильтров не требуется. Высокая степень зашумленности определялась по значениям метрики PSNR в пределах 14-17 дБ для зашумленного изображения.

Таблица 1

Значения полученных метрик оценки качества

Метрика	+Шум	lee_enhanced	BM3D	sar_transformer
Изображение «sapella_1», var = 0,75				
PSNR, дБ	16,76	13,56	12,33	6,28
ENL	712,71	1948,49	6576,97	8272,37
SMPI	47,95	29,26	5,16	11,92
Изображение «sapella_2», var = 0,75				
PSNR, дБ	14,28	10,41	7,05	4,10
ENL	1816,10	4603,44	10854,33	12692,61
SMPI	50,69	29,83	2,96	15,75

Анализ метрик показывает, что все фильтры снижают значения PSNR: для «capella_1» BM3D уменьшает PSNR с 16,76 дБ до 12,33 дБ, lee_enhanced – до 13,56 дБ, а sar_transformer – до 6,28 дБ. По метрике ENL лучший результат демонстрирует sar_transformer, а по SMPI лидирует BM3D. Фильтр lee_enhanced увеличивает ENL с 712,71 до 1948,49 и улучшает SMPI с 47,95 до 29,26. Хотя прирост по этим метрикам и меньше по сравнению с BM3D и sar_transformer, но падение PSNR менее значительное. Таким образом можно сделать вывод о том, что для радарных изображений «capella_1» и «capella_2» наиболее подходящим из рассмотренных алгоритмов является улучшенный фильтр Ли, поскольку он обеспечивает баланс между эффективным удалением спекл-шума и сохранением общего качества изображения.

Таким образом, рассмотрены методы фильтрации спекл-шума – улучшенный фильтр Ли, фильтр BM3D и нейросетевая модель sar_transformer. Для моделирования спекл-шума применялась мультипликативная модель с нормальным распределением с постоянным единичным математическим ожиданием и варьирующейся дисперсией. Качество изображений оценивалось с помощью метрик PSNR, ENL и SMPI. В тестировании использовались два изображения в радиодиапазоне, на которых наиболее подходящим оказался улучшенный фильтр Ли: он повышает ENL и SMPI меньше, чем BM3D и sar_transformer, но снижает PSNR не так существенно. После обработки этим фильтром удается сохранить больше деталей, несмотря на остаточное присутствие спекл-шума.

Список литературы

1. Fassnacht F. E., White J. C., Wulder M. A., Næsset E. Remote sensing in forestry: Current challenges, considerations and directions // For. Int. J. For. Res. 2023. № 97. P. 11–37.
2. Гук А. П., Евстратова Л. Г. Дистанционное зондирование и мониторинг территорий. М. : Курс, 2025. 224 с.
3. Larionov R., Sennikov A., Khryashchev V. Water Segmentation from SAR Images with the Presence of Speckle Noise // The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. Vol. 48. P. 95–100.
4. Maity A. [et al.]. A comparative study on approaches to speckle noise reduction in images // 2015 International Conference on Computational Intelligence and Networks. 2015. P. 148–155.

5. Zhu J., Wen J., Zhang Y. A new algorithm for SAR image despeckling using an enhanced Lee filter and median filter // Proceedings of the 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP). 2013. Vol. 1. P. 224–228.

6. Yahya A. A. [et al.]. BM3D image denoising algorithm based on an adaptive filtering // Multimedia Tools and Applications. 2020. Vol. 79, № 27. P. 20391–20427.

7. Perera M. V. [et al.]. Transformer-based SAR image despeckling // IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2022. P. 751–754.

5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

УДК 004.932

ОЦЕНКА ПОЗЫ ОТ 2D К 3D И МОДЕЛИРОВАНИЕ СКЕЛЕТНОЙ ТОПОЛОГИИ, ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В АНАЛИЗЕ ДВИЖЕНИЙ ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

Дин Аоди¹, Александр Михайлович Недзведь²

*^{1,2}Белорусский государственный университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

*²Объединенный институт проблем информатики Национальной
академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь*

¹aodiding541@gmail.com

²anedzved@bsu.by

Аннотация. Рассматривается система компьютерного анализа двигательных симптомов болезни Паркинсона. На основе монокулярного видео и MediaPipe извлекаются 2D-координаты суставов. Усовершенствованная модель MHFormer с топологическим моделированием скелета и геометрическими ограничениями строит устойчивые 3D-позы. Сравнительный анализ выявил значимые различия в траектории, скорости и координации движений между пациентами с болезнью Паркинсона и здоровой группой. Метод предлагает надежный инструмент для раннего выявления и оценки болезни Паркинсона.

Ключевые слова: 3D-оценивание позы человека, болезнь Паркинсона, анализ движений, моделирование скелета, MHFormer

POSITION ESTIMATION FROM 2D TO 3D AND SKELETAL TOPOLOGY MODELING, ITS APPLICATION IN ANALYSIS OF MOVEMENTS IN PARKINSON'S DISEASE

Ding Aodi¹, Alexander M. Nedzved²

^{1,2}Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

*²United Institute of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

¹aodiding541@gmail.com

²anedzved@bsu.by

Abstract. A system of computer analysis of the motor symptoms of Parkinson's disease is considered. 2D coordinates of joints are extracted based on

monocular video and MediaPipe. The advanced MHFormer model with topological skeleton modeling and geometric constraints builds stable 3D poses. Comparative analysis revealed significant differences in trajectory, speed, and coordination of movements between patients with Parkinson's disease and the healthy group. The method offers a reliable tool for early detection and assessment of Parkinson's disease.

Keywords: 3D human pose estimation, Parkinson's disease, motion analysis, skeletal modeling, MHFormer

Болезнь Паркинсона является вторым по распространенности нейродегенеративным заболеванием в мире. В клинической практике оценка двигательной функции при болезни Паркинсона в основном основывается на таких шкалах, как Единая шкала оценки болезни Паркинсона, где субъективное суждение выносится неврологом. Однако результаты такой оценки подвержены влиянию клинического опыта врача, условий наблюдения и состояния пациента, что приводит к высокой степени субъективности, низкой воспроизводимости и затруднениям в улавливании тонких изменений. На рис. 1 показан основной принцип построения походки, в данном исследовании используется модель MediaPipe Pose, которая с высокой точностью и в режиме реального времени извлекает координаты 2D-суставов тела из видео, снятого обычной камерой, что обеспечивает техническую основу для бесконтактного и низкочастотного анализа движений[2]. Затем, на основе модели MHFormer[3], явно моделируется топологическая структура скелета человека, где тело рассматривается как графовая структура.

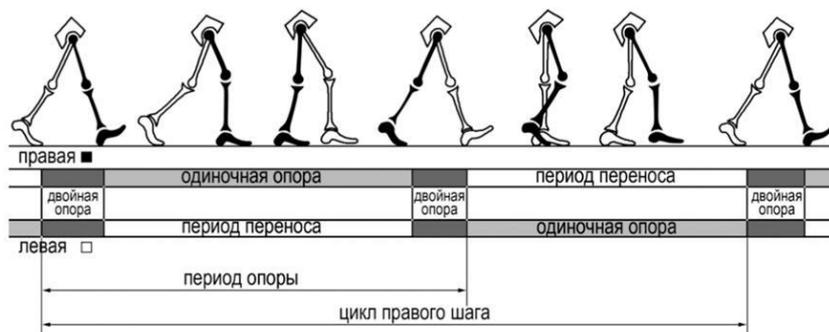


Рис. 1. Анализ походки

Введение связей между суставами и геометрических ограничений усиливает способность модели предсказывать сложные позы, позволяя получать более стабильные и физиологически

обоснованные 3D-последовательности поз. На этой основе улучшенная модель оценки позы из 2D в 3D применяется для анализа видео движений пациентов с болезнью Паркинсона и группы здоровых людей. Цель исследования – количественно выявить и подтвердить различия в характеристиках траекторий движения суставов, скорости и стабильности между двумя группами на 2D и 3D уровнях.

Теория и методы

Пространственный кодировщик с осознанием скелета

В пространственном модуле MHFormer используется графовая сверточная сеть (GCN), которая сочетает механизм самовнимания на глобальном уровне с локальными ограничениями, основанными на связях скелета[5]. Это помогает модели учитывать согласованность движений суставов, например, движение запястья больше зависит от локтя, чем от противоположной лодыжки. Для внедрения знаний о физиологии тела данные представлены в виде графа, что явно кодирует связи суставов и усиливает структурные ограничения модели.

$$Z^{(l+1)} = \sigma \left(\tilde{D}^{-\frac{1}{2}} \tilde{A} \tilde{D}^{-\frac{1}{2}} Z^{(l)} \Theta^{(l)} \right). \quad (1)$$

Формула (1) реализует локальную агрегацию информации в графовой структуре. Произведение матрицы смежности A и матрицы признаков узлов Z обновляет признаки каждого узла, комбинируя его собственные признаки с признаками всех соседних узлов, непосредственно связанных с ним. Это заставляет модель в первую очередь обучаться локальным паттернам движений конечностей, определяемым скелетными соединениями. Обучаемая матрица весов Θ отвечает за то, чтобы избирательно объединять эту локальную информацию. Наконец, нелинейная функция активации σ усиливает выразительную способность модели.

Функция потерь с учетом скелетных ограничений

На этапе обучения, кроме использования стандартной функции потерь регрессии 3D-координат (например, MPJPE), дополнительно вводится функция потерь с учетом скелетных ограничений. Эта функция потерь вычисляет отклонение длины каждой кости в предсказанной позе от её средней длины на временной последовательности и накладывает штраф за это отклонение. Такой

подход эффективно предотвращает появление в модели аномальных поз, нарушающих физиологическую структуру тела человека, и значительно повышает устойчивость предсказаний в случаях, когда часть тела закрыта или находится в самозакрытии [4].

$$L_{mpjpe} = \frac{1}{T} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \|\hat{p}_i^{(t)} - p_i^{(t)}\|_2. \quad (2)$$

Формула (2) задает наиболее часто используемую функцию потерь в задаче оценки 3D-поз. Её цель – минимизировать ошибку между предсказанными координатами 3D-суставов и их истинными координатами. Формула определяет среднюю ошибку положения суставов (MPJPE), которая используется для оценки разницы между предсказанными и истинными положениями ключевых точек в задачах 3D-позирования. Здесь L_{mpjpe} – функция потерь; T – общее количество временных кадров; N – количество суставов на каждом кадре.

Функция потерь согласованности скелета (3) используется для ограничения длины костей в задаче оценки 3D-позы человека. Эта функция минимизирует дисперсию длины костей на всех временных кадрах, обеспечивая согласованность длины костей в последовательности. Такой подход повышает стабильность результатов оценки [1].

$$L_{bone} = \frac{1}{|E|} \sum_{e_{ij} \in E} Var(l_{ij}^{(t)}) = \frac{1}{|E|} \sum_{e_{ij} \in E} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (l_{ij}^{(t)} - \bar{l}_{ij})^2. \quad (3)$$

Здесь L_{bone} – функция потерь согласованности длины костей; E – множество костей, включающее все ребра между суставами, ребро между суставами i и j ; $|E|$ – общее количество рёбер костей. Эта формула минимизирует временную дисперсию длины костей, что ограничивает согласованность скелета во временных рядах и повышает стабильность результатов.

Результаты и анализ

На рис. 2 представлены графики ядерной оценки плотности (KDE). Этот метод визуализации позволяет с помощью сглаженных кривых полноценно отобразить форму распределения данных, тенденцию к концентрации и степень разброса каждой характеристики в обеих группах.

Визуальный анализ распределения характеристик походки подтвердил, что болезнь Паркинсона оказывает всестороннее и значительное влияние на походку пациентов.

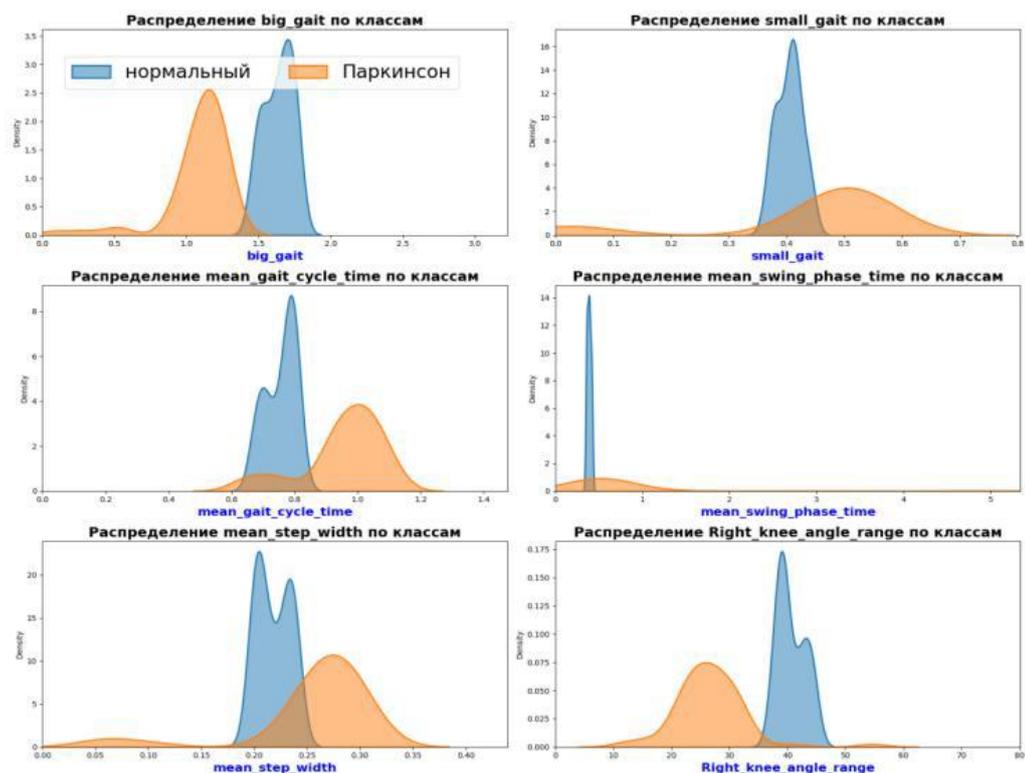
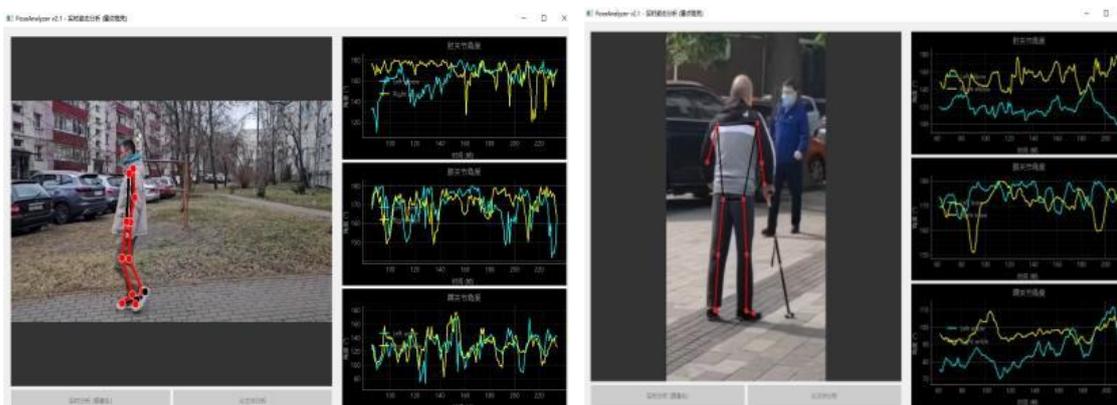


Рис. 2. Сравнение характеристик походки

По сравнению со здоровыми людьми пациенты с болезнью Паркинсона демонстрируют типичные особенности: уменьшение длины шага, снижение скорости ходьбы, увеличение ширины шага, ограничение диапазона движений суставов, а также увеличение вариативности параметров походки.

На рис. 3 система использует интерфейс, объединяющий видеоанализ позы скелета и временные графики многосуставных углов, чтобы обеспечить единство качественного наблюдения и количественного анализа походки человека.



а)

б)

Рис. 3. Анализ походки на основе 2D-суставов

Нормальная походка (рис. 3,а) характеризуется хорошей координацией верхних и нижних конечностей. Кривые углов в локтевых суставах правой и левой руки демонстрируют значительные, регулярные и чередующиеся периодические колебания. Эти колебания количественно отражают естественное движение рук при ходьбе, что способствует поддержанию баланса тела и повышению эффективности ходьбы. Походка при болезни Паркинсона (рис. 3,б) резко контрастирует с нормальной походкой: кривые углов в локтевых суставах становятся очень плоскими с минимальными колебаниями. Размах колебаний и диапазон движений существенно уменьшаются. Коленный сустав не может полностью выпрямиться и недостаточно сгибается, что полностью соответствует характерным признакам болезни Паркинсона.

На рис. 4 3D-анализ, благодаря реконструкции положения суставов в трехмерном пространстве (координаты X, Y, Z), позволяет получить реальные пространственные траектории движений и углы суставов, независимо от точки зрения камеры.

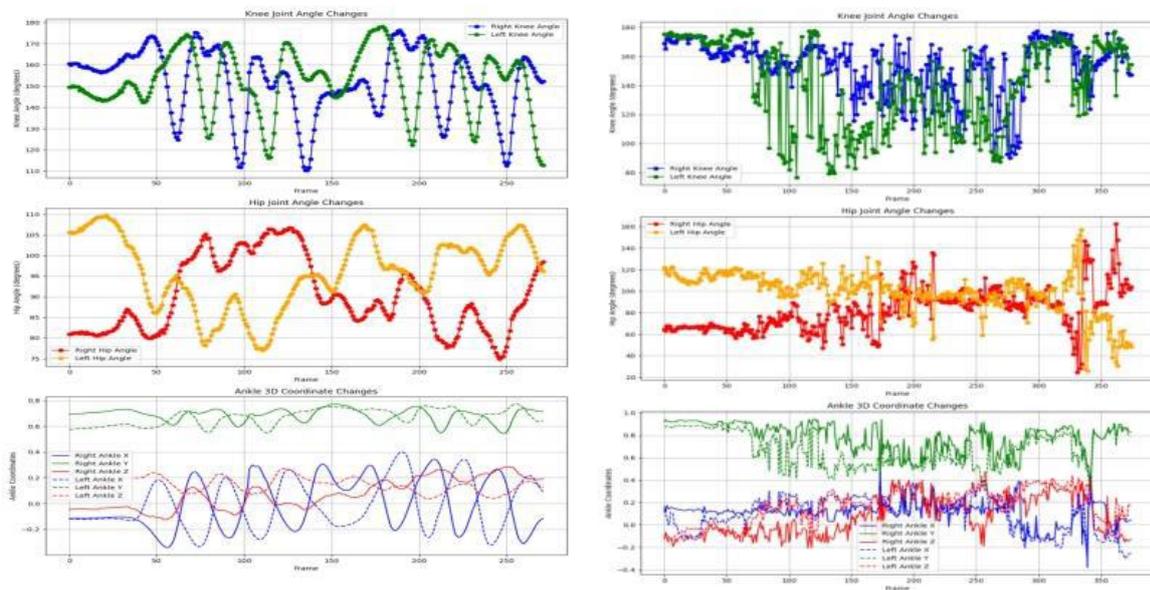


Рис. 4. Анализ походки на основе 3D-суставов

Здоровая походка: плавные траектории, стабильные и регулярные шаги, достаточная высота и длина шага. Паркинсоническая походка: снижена амплитуда и регулярность движений, шарканье, низкий подъем ноги, короткие и нестабильные шаги.

Заключение

В статье представлена компьютерно-ассистированная система диагностики болезни Паркинсона на основе монокулярного видео. Она сочетает 2D-анализ для быстрого извлечения параметров движения, подходящего для массового скрининга, и 3D-модель с учетом топологии скелета МРЖРЕ до 42 мм для точной оценки глубинных характеристик, таких как амплитуда движения и углы суставов. Эксперименты подтвердили, что система эффективно различает пациентов и здоровых людей, объединяя точность и универсальность, и предоставляет надежный инструмент для раннего скрининга и оценки болезни.

Список литературы

1. Lee J., Lee S., Kweon I. GraFormer: Graph-Oriented Transformer for 3D Pose Estimation // 2021 British Machine Vision Conference (BMVC). 2021. P. 1–13.
2. Hsu K. T., Wang S. Y., Hsu W. H. PoseGFormer: A Graph-based Transformer with Graceful Occlusion Handling for 3D Human Pose Estimation // Computer Vision – ECCV 2022. Cham : Springer Nature Switzerland, 2022. P. 248–265.
3. Li W., Liu H., Ding R. [et al.]. MHFormer: Multi-hypothesis transformer for 3D human pose estimation // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. P. 11181–11190.
4. Zheng C., Zhu S., Mendieta M. [et al.]. PoseFormer: An efficient transformer for 3D human pose estimation // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). 2021. P. 11884–11894.
5. Martinez J., Hossain R., Romero J., Little J. A simple yet effective baseline for 3d human pose estimation // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). 2017. P. 2640–2649.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИФУРКАЦИЙ ВЕНЕЧНЫХ АРТЕРИЙ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ

Дмитрий Николаевич Грибков

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

rororol23@mail.ru

Аннотация. Предложены и реализованы графовые нейронные сети для моделирования бифуркаций венечных артерий сердца человека. Проведено сравнение различных подходов к решению данной задачи.

Ключевые слова: нейронная сеть, алгоритм обучения, графовые нейронные сети, аугментация графовых данных

MODELING CORONARY ARTERY BIFURCATIONS IN THE HUMAN HEART. COMPARISON OF DIFFERENT NEURAL NETWORK APPROACHES

Dmitry N. Gribkov

Penza State University, Penza, Russia

rororol23@mail.ru

Abstract. Graph neural networks for modeling coronary artery bifurcations in the human heart are proposed and implemented. Various approaches to solving this problem are compared.

Keywords: neural network, learning algorithm, graph neural networks, graph data augmentation

Сердечно-сосудистые патологии продолжают занимать лидирующие позиции среди причин смертности во всём мире: по оценкам Всемирной организации здравоохранения около 30 % всех смертей связаны с нарушениями кровообращения [1]. Среди них ишемическая болезнь сердца и её различные осложнения. Одним из наиболее эффективных малоинвазивных способов восстановления коронарного кровотока является перкутанная коронар-

ная интервенция. Успех этой процедуры во многом зависит от детального планирования: необходимо знать форму исходного участка с точностью до десятых миллиметра, иначе возможны как недостаточное, так и избыточное расширение стеноза, что приводит к осложнению [2].

Коронарные сосуды образуют сложную сеть ветвлений, которую часто описывают как фрактальную структуру, состоящую из бинарных деревьев: каждый узел представляет собой бифуркацию, включающую проксимальный (родительский) сегмент и два дистальных отростка d_{max} и d_{min} [3]. Традиционные эмпирические формулы (например, закон Мюррея) дают лишь приближённые оценки и не учитывают индивидуальные особенности морфологии пациента [4].

Цель исследования – разработать и исследовать графовые нейронные сети, способные предсказывать диаметры дочерних сосудов коронарной сети человека.

Известны подходы для решения этой задачи. Например, в [5] геометрия ветвления задаётся скейлинговыми законами: $d_{max} = \alpha D$, $d_{min} = \beta D$, $\alpha \approx 0.9$, $\beta \approx 0.6$. В [6] расширен закон Мюррея с учетом полной фрактальной структуры сосудистой сети:

$$D^{\frac{7}{3}} = d_{max}^{\frac{7}{3}} + d_{min}^{\frac{7}{3}}, \text{ratio} = \frac{d_{min}}{d_{max}}, d_{max} = D \cdot \left(1 + \text{ratio}^{\frac{7}{3}}\right)^{-\frac{7}{3}},$$

$$d_{min} = \text{ratio} \cdot d_{max}.$$

Для оценки результатов известных подходов были использованы метрики MAE – среднее абсолютное отклонение, RMSE – квадратичная ошибка в исходных данных измерения (мм) и R^2 – коэффициент детерминации, доля дисперсии истинных значений, объяснённой моделью. Сравнение производилось с исходными данными [7]. Результаты расчетов для классических методов в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты применения классических методов для d_{max}

	MAE	RMSE	R^2
Модель Olufsen [5]	0,397	0,675	0,429
Модель Huo&Kassab [6]	0,383	0,653	0,465

Результаты классических методов для d_{\min}

	MAE	RMSE	R ²
Модель Olufsen [5]	0,386	0,609	-0,794
Модель Huo&Kassab [6]	0,352	0,559	-0,511

Как видно, традиционные модели дают ограниченную точность (MAE \approx 0.35 – 0.40 мм, R^2 отрицательный для d_{\min}), что мотивирует переход к более гибким решениям на основе нейронных сетей.

Для решения задачи прогнозирования диаметров дочерних сосудов коронарных артерий был выбран набор моделей, от простейшего многослойного персептрона (MLP) [8] до современных графовых трансформеров. GCN – специализированная нейронная сеть, работающая с данными, представленными в виде графов, использует сверточные операции над соседними вершинами [9]. GraphSAGE – архитектура графовой сети, построенная на индуктивном методе, агрегирующая признаки фиксированного числа соседей с помощью различных алгоритмов (усреднение, суммирование и др.) [10]. GAT – графовая нейронная сеть с механизмом внимания, позволяющая делать акцент на тех сосудах, которые вносят наибольшее влияние в структуру сосудистой системы [11]. Transformer Conv – графовый трансформер, реализующий глобальный механизм самовнимания с учётом позиционных эмбеддингов, что позволяет охватить одновременно всю структуру графа, а не только соседние узлы [12].

Все модели обучались с использованием функции потерь HuberLoss, что повышает устойчивость к выбросам по сравнению с обычным MSE [13]. Исходный набор представляет из себя базу данных с 32-мя коронарными исследованиями [7]. Для обучения отобрано 17 пациентов, у которых суммарное количество измеренных сосудов превышало 100 штук, что дало 3328 отдельных сегментов. Для каждого сегмента известны: индексы начального и конечного узлов, диаметр, длина, пол и возраст пациента (возраст закодирован согласно классификации ВОЗ).

Графовые сети требуют значительного количества обучающих примеров [14]. Чтобы компенсировать нехватку, была разработана стохастическая аугментация сосудистых графов. Алгоритм аугментации состоит из следующих шагов:

1. Для каждого исходного графа создается n копий;
2. Узлы-родители (обязательно имеющие потомков) обходятся в топологическом порядке;
3. Для узла v с уровнем ветвления $i(v)$ генерируются четыре независимых шума из нормального распределения $N(0, \sigma^2)$: шум диаметра, шум отношения $\frac{d_{min}}{d_{max}}$, шум отношения $\frac{d}{D}$, шум нарушения закона Мюррея, к примеру для шума диаметра: $\varepsilon_D \sim N(0, \sigma_D^2)$, $D_v^{new} = \max\left(D_v^{old} + \frac{\varepsilon_D}{i(v)}, 0.05\right)$;

4. На основе новых параметров пересчитываются диаметр d_{max}^{new} и d_{min}^{new} с учетом шума: $d_{max}^{new} = \left(\frac{(D_v^{new})^3}{(1+\delta_{violation}) \cdot (1+(r^{new}))^3}\right)^{\frac{1}{3}}$ и $d_{min} = ratio \cdot d_{max}$, если есть два дочерних сосуда или $d_{child} = \left(\frac{d_{child}^{old}}{D_{old}} + \varepsilon_{ratio_single}\right) \cdot D_v^{new}$ для одного.

Параметры σ подбирались с помощью библиотеки подбора гиперпараметров Optuna [15], реализующей байесовскую оптимизацию вместо простого перебора комбинаций.

Оптимизатор TPESampler [16] использовался для поиска наилучших значений σ в 200 trials (испытаниях, первые 50 – случайные). Лучшие найденные значения:

$$\sigma_D = 0.05, \sigma_{ratio} = 0.85, \sigma_{violation} = 0.5, \sigma_{ratio_single} = 0.05.$$

Для проверки соответствия сгенерированных данных реальным были проведены различные тесты соответствия реальных данных сгенерированным.

Таблица 3

Результаты тестирования

	Ошибка закона Мюррея	Энтропия Шеннона	KS-test, p-value	T-test, p-value
Исходные	175 %	1.4438	–	–
Аугментированные	90 %	1.4576	0.025, (p = 0.05)	0.126, (p = 0.89)

Дополнительно были сделаны визуальные тесты для оценки. Среди них: гистограммы KDE – сравнение плотностей оригинального (синий) и аугментированного (красный) наборов, Q-Q plot – точки, расположенные вдоль красной диагонали, означают, что

квантили обеих выборок почти совпадают, ECDF – две кривые CDF почти совпадают, что означает небольшое значение Wasserstein Distance (работа по перемещению одного набора в другой); Boxplot – показаны медианы, квантили и выбросы, CDF сравнение – разница (aug-orig) по оси, KDE сравнение – две наложенные KDE-кривые подтверждают одинаковую форму распределения.

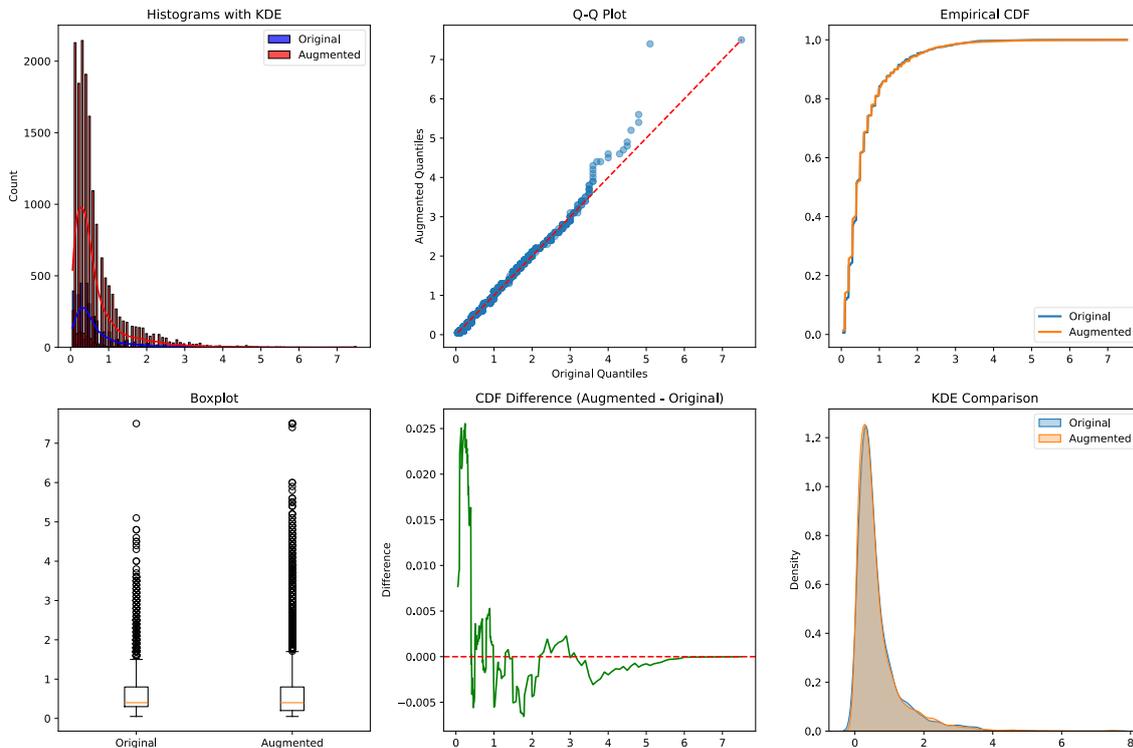


Рис. 1. Результаты визуальных тестов

После всех тестов можно составить итоговое заключение по результатам аугментации:

1. Сохранение статистических свойств – все классические тесты (KS, t-test) показывают $p\text{-value} > 0.05$, значит распределения диаметров до и после аугментации статистически не различаются;
2. Энтропия Шеннона указывает на то, что аугментация почти не меняет информационную насыщенность распределения диаметров, что важно для избежания переобучения модели;
3. Биофизическая согласованность – средняя ошибка закона Мюррея сократилась почти вдвое ($\approx 90\% - \approx 174\%$), что говорит о графах как о более совместимых с известными гемодинамическими закономерностями, не искажая при этом их статистические характеристики;

4. Дополнительные визуальные сравнения (KDE-гистограммы, Q-Q-плоты, ECDF, box-plots) подтверждают, что аугментированные графы сохраняют распределения диаметров, не вводя систематических смещений и улучшая согласованность с законом Мюррея.

Таким образом, данный алгоритм аугментации успешно генерирует новые сосудистые графы, которые можно использовать для дальнейшего обучения нейросетевых регрессоров без риска переобучения или введения систематических биологических артефактов.

С помощью описанной аугментации получено 5 новых наборов, что в сумме дало 19968 графов. Деление на подмножества обучающих и тестовых выполнено в пропорциях 0.5/0.5 (train/validation-test), получив 10155 примеров для тренировочного, 4757 примеров для валидационного и 5056 для тестового.

Все числовые признаки масштабированы с помощью RobustScaler (медиана + IQR), что делает процесс менее чувствительным к выбросам по сравнению со стандартным Z-скейлингом [17].

При обучении был использован язык Python 3.11 [18] в ОС Ubuntu 24.04 [19]. Реализация выполнялась при помощи библиотек PyTorch [20] с использованием CUDA 12.8 [21] и pytorch-geometric [22]. Для обучения была использована библиотека MLflow [23] для хранения результатов обучения и уже упомянутый оптимизатор Optuna с TPESampler. В зависимости от типа обучаемой сети, подбирались различные параметры на протяжении 200 запусков (50 первых случайные). Целевая функция – минимизация потерь HuberLoss. Среди подбираемых параметров были: Скорость обучения (lr), угасание весов (weight_decay); количество слоев; размер скрытого слоя или слоев (для всех, кроме MLP, скрытые слои равны), так же у графовых сетей предсказывается размер скрытых слоев MLP на выходе; количество голов для сетей с механизмом внимания: GAT и Transformer Conv; функция активации: Relu или LeakyRelu, dropout для дополнительной регуляризации.

Результаты обучения сетей на тестовой наборе представлены в табл. 4 и 5. В результаты так же были добавлены уже упоминавшиеся математические модели.

Таблица 4

Результаты обучения сети для прогнозирования d_{max}

	MAE	RMSE	R ² Score	95 % CI для R ²
Модель Olufsen [5]	0,397	0,675	0,429	[0.325, 0.51]
Модель Huo&Kassab [6]	0,383	0,653	0,465	[0.365, 0.541]
Transformer Conv	0,091	0,199	0,95	[0.934, 0.963]
MLP	0,335	0,566	0,599	[0.58, 0.615]
BaseGraph	0,374	0,625	0,511	[0.485, 0.536]
GAT	0,269	0,479	0,713	[0.691, 0.736]
GraphSAGE	0,368	0,612	0,531	[0.512, 0.548]

Таблица 5

Результаты обучения сетей для прогнозирования d_{min}

	MAE	RMSE	R ² Score	95 % CI для R ²
Модель Olufsen [5]	0,386	0,609	-0,794	[-1.158, -0.495]
Модель Huo&Kassab [6]	0,352	0,559	-0,511	[-0.801, -0.275]
Transformer Conv	0,112	0,221	0,764	[0.711, 0.809]
MLP	0,207	0,359	0,378	[0.267, 0.471]
BaseGraph	0,21	0,359	0,377	[0.246, 0.48]
GAT	0,216	0,385	0,282	[0.142, 0.397]
GraphSAGE	0,205	0,341	0,438	[0.334, 0.513]

Традиционные аналитические модели (Olufsen, НК) демонстрируют высокие MAE ($\approx 0,38 - 0,40$ мм) и часто отрицательные R^2 , что свидетельствует о слабой корреляции с реальными данными. Среди нейросетевых решений Transformer Conv показывает наилучший результат: MAE $\approx 0,09$ мм (d_{max}) и MAE $\approx 0,11$ мм (d_{min}), $R^2 \approx 0,95$ и $R^2 \approx 0,76$ соответственно. GAT занимает второе место, особенно эффективно предсказывая d_{max} (MAE $\approx 0,27$ мм, $R^2 \approx 0,71$). MLP, BaseGraph и GraphSAGE дают адекватные, но менее точные результаты (MAE $\approx 0,33-0,38$ мм, $R^2 \approx 0,5-0,6$). Таким образом, графовые трансформеры способны достичь высокого уровня точности, близкого к измерениям морфометрии, и существенно превосходят как классические эмпирические формулы, так и более простые нейронные сети.

В совокупности полученные результаты подтверждают, что комбинация продвинутых графовых моделей и тщательно построенной процедуры аугментации представляет собой перспективный инструмент для точного моделирования коронарных артерий и поддержки клинического принятия решений.

Список литературы

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs) fact sheet // WHO. 2025.
2. Ahmad M., Mehta P., Reddivari A. K. R., Mungee S. Percutaneous coronary intervention // StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2025. URL: <https://www.statpearls.com/> (дата обращения: 01.10.2025). PMID: 32310583
3. Chen Y.-L., Bai G.-Q., Ren L.-X. [et al.]. Blood physiological and flow characteristics within coronary artery circulatory network for human heart based on vascular fractal theory // *Advances in Mechanical Engineering*. 2020. Vol. 12, № 7. P. 1–13. doi: 10.1177/1687814020933385
4. Murray C. D. The physiological principle of minimum work: I. The vascular system and the cost of blood // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1926. Vol. 12, № 3. P. 207–214. doi: 10.1073/pnas.12.3.207 PMID: 16576980 PMCID: PMC1084489
5. Olufsen M. S., Peskin C. S., Kim W. Y. [et al.]. Numerical simulation and experimental validation of blood flow in arteries with structured-tree outflow conditions // *Ann. Biomed. Eng.* 2000. Vol. 28, № 11. P. 1281–1299. doi: 10.1114/1.1326031 PMID: 11212947
6. Huo Y., Kassab G. S. Scaling laws of coronary circulation in health and disease // *J. Biomech.* 2016. Vol. 49, № 12. P. 2531–2539. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.01.044 PMID: 26921916
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021623064 Российская Федерация. База данных результатов морфометрии ангиограмм внутриорганного артериального русла сердца человека : № 2021622260 : заявл. 16.12.2021 : опубл. 21.12.2021 / Зенин О. К., Дмитриев А. В., Милтых И. С. ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ПГУ.
8. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep learning* // MIT Press. 2016. URL: <http://www.deeplearningbook.org> (дата обращения: 01.10.2025).
9. Kipf T., Welling M. Semi-supervised classification with graph convolutional networks // arXiv. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.02907> (дата обращения: 01.10.2025).
10. Hamilton W. L., Ying R., Leskovec J. Inductive representation learning on large graphs // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. URL: <https://papers.nips.cc/paper/2017> (дата обращения: 01.10.2025).
11. Veličković P., Cucurull G., Casanova A., Romero A., Liò P., Bengio Y. Graph attention networks // arXiv. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1710.10903> (дата обращения: 01.10.2025).

12. Shi Y., Huang Z., Wang W., Zhong H., Feng S., Sun Y. Masked label prediction: unified message-passing model for semi-supervised classification // arXiv. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2009.03509> (дата обращения: 01.10.2025).

13. Huber Loss Function in Machine Learning. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/machine-learning/huber-loss-function-in-machine-learning/?ysclid=milwcanjj423560763> (дата обращения: 01.10.2025).

14. Xie Y., Xu Z., Wang Z., Ji S. Self-supervised learning of graph neural networks: a unified review // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 2021. Vol. 45. P. 2412–2429. doi: 10.1109/TPAMI.2022.3151234

15. Optuna. URL: <https://optuna.org/> (дата обращения: 01.10.2025).

16. Watanabe S. Tree-structured Parzen estimator: understanding its algorithm components and their roles for better empirical performance // arXiv. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2304.11127> (дата обращения: 01.10.2025).

17. RobustScaler. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.RobustScaler.html> (дата обращения: 01.10.2025).

18. Python 3.11.11. URL: <https://www.python.org/downloads/release/python-31111> (дата обращения: 01.10.2025).

19. Ubuntu 24.04. URL: <https://ubuntu.com/blog/tag/ubuntu-24-04-lts> (дата обращения: 01.10.2025).

20. PyTorch. URL: <https://pytorch.org/blog/pytorch-2-7> (дата обращения: 01.10.2025).

21. CUDA 12.8 // NVIDIA Developer. URL: <https://developer.nvidia.com/cuda-12-8-0-download-archive> (дата обращения: 01.10.2025).

22. PyTorch Geometric // PyPI. URL: <https://pypi.org/project/torch-geometric/2.6.1/> (дата обращения: 01.10.2025).

23. MLflow. URL: <https://mlflow.org> (дата обращения: 01.10.2025).

TRAIL MAKING EXPERIMENT RESPONDENT SOFTWARE MODULE

**Filip Đorđević¹, Nikola Petrović², Milana Bojanić³,
Svetlana Borojević⁴**

^{1,2,3}University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

*⁴University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,
Bosnia and Hercegovina*

²petrovicnikola@uns.ac.rs

⁴svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Abstract. This paper presents a software solution that implements a user interface using a wireless headset for respondents completing a trail-making test (TTT) in conjunction with electroencephalograms and cognitive state measurements. The results of a pilot experiment conducted to test the usability of the software solution are presented.

Keywords: telepsychology, wireless data transfer, real-time communication, electroencephalogram measurements, selective attention test, trail making experiment, cognitive neurosciences, human-computer interaction

МОДУЛЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ ЭКСПЕРИМЕНТА TRAIL MAKING

**Филип Джорджевич¹, Никола Петровић², Милана Боянич³,
Светлана Бороевич⁴**

^{1,2,3}Университет Нови-Сад, г. Нови-Сад, Србија

*⁴Университет Баня-Лука, г. Баня-Лука, Република Српска,
Боснија и Герцеговина*

²petrovicnikola@uns.ac.rs

⁴svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Аннотация. Представлено программное решение, реализующее пользовательский интерфейс с использованием беспроводной гарнитуры для респондентов, выполняющих тест на избирательное внимание (Trail Making Test), в сочетании с измерениями их электроэнцефалограммы и когнитивных состояний. Приведены результаты пилотного эксперимента, проведенного для проверки удобства использования программного решения.

Ключевые слова: телепсихология, беспроводная передача данных, связь в реальном времени, измерения электроэнцефалограммы, тест на избирательное внимание, эксперимент «Трайл-Мейкинг», когнитивные нейронауки, человеко-компьютерное взаимодействие

Introduction

This research aims to show how software engineering can be applied to cognitive neurosciences in terms of a software module used by respondents to perform the Trail Making experiment. This software solution adds to an ongoing PhD research, integrating this module to an already-developed computer platform in order to conduct different types of experiments. In the platform, telepsychology is the targeted subset of telemedicine, utilizing real-time communication and wireless data transfer [1].

Trail Making Experiment is used to examine the visual attention of the respondent when trying to tap or click all the objects on the screen following the order of numbers placed inside the objects. Baseline case of the experiment is done with the objects containing consecutive numbers in ascending order. The respondent would need to locate the next object by its number following the ascending order and tap it as quickly as possible. The most common performance metrics that are registered in this experiment are reaction times (for each object) and accuracy in choosing the right object.

Acquisition of a respondent's EEG measurements is supported while they are performing the experiment. The software module can connect via Bluetooth to the EEG measuring device in order to receive measurements in real time. The only constraints when measuring data this way is that an expert needs to be present to help the respondent place the device on their head, with the device being portable and allowing movement.

Apart from the number shown inside the chosen object, the software module would collect moments in time when the respondent tapped or clicked the object on screen, along with the information if the chosen object is actually next in order. With actual EEG channel values that have been acquired, readings of respondent's cognitive states (attention, engagement, excitement, stress, relaxation and interest) are also recorded.

In numerous scientific researches in the field of psychology, as well as in the field of neurosciences, visual attention can be divided into spatial and feature attention [2]. Spatial attention describes the respondent being able to direct their attention to a specific location, while for feature attention, the respondent should be able to direct their attention to specific features of stimulus, for example color or shape. When looking at the Trail Making experiment, the interaction with the respondent makes it suitable for computer implementation [3]. Different solutions have been provided recently, all with the idea of digitalization of the standardized psychological Trail Making test, and analysis of the results in order to assess neurological disorders (Alzheimer's disease or Mild Cognitive Impairment) [4, 5]. Lines that connect the objects are captured using a digital pen on a tablet device, with the results being processed in real-time depending on the completion time, and the paths made by the respondents.

Advancements have also been made with the idea of testing respondent's perception in three-dimensional space [6], where the respondents rotate a spherical object consisting of multiple cubes, each representing a number, and after they tap the correct cube object in order, it disappears from the screen, with each action described by a large dataset of attributes.

Methodology

In order to follow current PhD research and be consistent with our chosen technology, this software module is implemented by using C# programming language and *Windows Presentation Foundation* (WPF) Framework for development of *Graphical User Interface* (GUI) applications, with the aim to provide the respondent with an interactive environment. As this is a software module of a telepsychology platform, it is able to process test data in real time and calculate test results.

The software module itself is organized in two sections, experiment setup and experiment interface.

Experiment setup

The experiment can be set up in two different ways. First is to choose the start/minimum and end/maximum number values that will be placed inside the objects the respondent needs to tap/click. Here, the predefined step between number values is one, so that circle objects are shown with consecutive numbers. The step value can also be changed

to any number, so that the number values don't appear as consecutive, but rather that they are shown with the chosen step value between each number.

Second option is to have the number order be interpreted as ascending or descending depending on the given number values.

Each respondent also has a unique identification number so that the gathered results can be uniquely identified. Experiment duration (in seconds) can also be given as an input value, with predefined duration set for 30 seconds.

Experiment interface

After setting up the experiment, the respondent will be shown a light gray screen with light blue circles, each showing a number. The total number of circles is calculated depending on the starting, ending and step between numbers, and they are rendered with their assigned number, so that none of the circles overlap.

Each circle object has an event assigned to it, so that when it is clicked/tapped, it will check whether it is the correct circle in order and play system sounds according to the result of the check. Next to that, if the object is correctly chosen, it will be removed from the screen. Times between two consecutive clicks/taps are collected, along with the position on the screen where the respondent clicked/tapped.

When all of the circle objects are removed from the screen, the experiment is completed, and the module will save all of the data collected.

These two sections of the software module are shown in Fig. 1 and Fig. 2.

User ID:

Min Value: Max Value: Step:

Test duration (sec):

Descending order

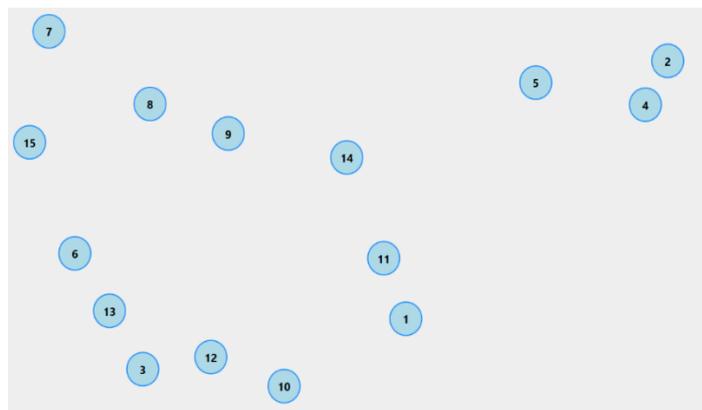


Fig. 1. Experiment Setup

Fig. 2. Experiment Interface

Acquiring EEG measurements

In order to gather all EEG data from the respondent, the module utilizes the *Emotiv Cortex API*, which provides a link between the module and the *EmotivBCI* headset that will be used in EEG measurements acquisition. Possible headsets include:

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

- *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.

By using *Emotiv Cortex API*, this software module could work with both of these headsets. In order to preprocess the data, the already integrated Emotiv preprocessing is used so that data between 0.5 and 43 Hz is filtered, and removing the effects of 50 and 60 Hz signals.

Results and discussion

Pilot experiment for testing this software module was done with five respondents. Each respondent did the experiment with five, ten and fifteen circle objects showing consecutive numbers in ascending order (baseline case of the experiment) two times. Respondents performed the experiment by using a touch-screen tablet computer with 13.3-inch display, and EEG headset connected via Bluetooth. For this experiment, five-channel *Emotiv Insight* headset was used.

This meant that the respondents had to tap the circle objects in order, for each of the scenarios. The pilot experiment resulted in 30 EEG recordings (five channels and cognitive states), along with respondents' performance and metrics. Appearance of a respondent performing the experiment can be seen in Fig. 3.



Fig. 3. Experiment being performed by one of the respondents

When interpreting EEG measurements we looked at Alpha (8–13 Hz) and Beta (13–30 Hz) spectrums of EEG [7]. Beta spectrum is more important to us, because it is generally associated with problem-solving and active thinking, while Alpha spectrum generally shows lower values for mental effort and sensory processing. These results can be seen in a graph in Fig. 4 showing overall Alpha and Beta spectrums for three experiment complexity levels (five, ten and fifteen numbered objects).

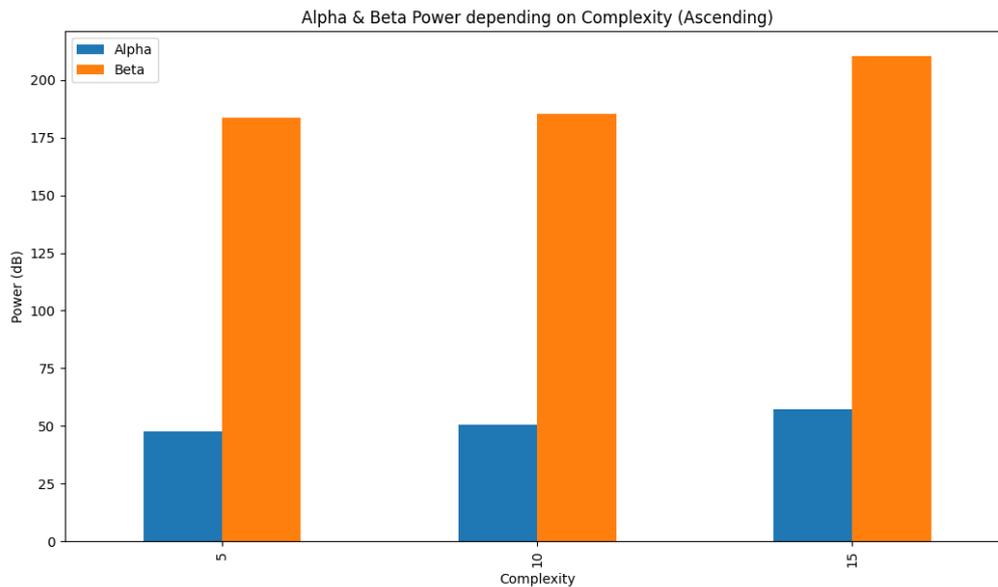


Fig. 4. Overall Alpha and Beta EEG spectrum values for different experiment complexities (number of objects)

Alpha and Beta values are pretty much similar for five and ten circle object experiments, which would entail that in those scenarios, the experiment was equally demanding, while for fifteen objects it shows higher engagement, which is a sign of a greater cognitive load.

We would look at further experiments with different scenarios – descending order of values, and also scenarios without consecutive numbers. Next to that, we would try to find out what is the number of circle objects that needs to be shown to the respondent for the experiment to be more demanding.

References

1. Bashshur R. L., Shannon G. W., Krupinski E. A., Grigsby J. The taxonomy of telemedicine // Telemedicine journal and e-health. 2011. Vol. 176. P. 484–494.

2. Lindsay G. W. Attention in Psychology, Neuroscience, and Machine Learning // *Front. Comput. Neurosci.* Vol. 14, № 29. 2020. doi: 10.3389/fncom.2020.00029

3. Zeng Z., Miao C., Leung C., Shen Z. Computerizing Trail Making Test for long-term cognitive self-assessment // *International Journal of Crowd Science.* 2017. Vol. 1, № 1. P. 83–99. doi: 10.1108/IJCS-12-2016-0002

4. Prange A., Barz M., Heimann-Steinert A., Sonntag D. Explainable Automatic Evaluation of the Trail Making Test for Dementia Screening // *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)* (May 8–13, 2021). 2021.

5. Lara-Garduno R., Jia Y., Deutz N. E. [et al.]. Detecting mild cognitive impairment through digitized trail-making test interface // *Graphics interface.* 2022.

6. Lara-Garduno R., Igarashi T., Hammond T. 3D-Trail-Making Test: A Touch-Tablet Cognitive Test to Support Intelligent Behavioral Recognition // *Graphics Interface.* 2019. P. 10–1.

7. Rashid M., Sulaiman N., Mustafa M. [et al.]. Analysis of EEG Features for Brain Computer Interface Application // *Lecture notes in Electrical Engineering.* 2020. doi: 10.1007/978-981-15-2317-5_45

ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ АПНОЭ СНА ПО АУДИОСИГНАЛУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Александр Владимирович Захаров¹,
Дарья Дмитриевна Мельникова²

*^{1,2}Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹a.v.zaharov@samsmu.ru

²d.d.melnikova@samsmu.ru

Аннотация. Представлен подход к автоматическому обнаружению событий апноэ сна по аудиосигналу на основе каскадной архитектуры глубокого обучения. В текущем пайплайне используется сверточная нейронная сеть (Simple Apnea Classifier) для многометочной (multi-label) классификации четырех типов респираторных событий (гипопноэ, десатурация, апноэ и парадоксальные дыхательные движения), а также каскадная постобработка для храпа/апноэ.

Ключевые слова: апноэ сна, мел-спектрограмма, сверточные нейронные сети, каскадная модель

AUDIO-BASED DETECTION OF SLEEP APNEA EVENTS USING CASCADED NEURAL NETWORKS

Alexander V. Zakharov¹, Daria D. Melnikova²

^{1,2}Samara State Medical University, Samara, Russia

¹a.v.zaharov@samsmu.ru

²d.d.melnikova@samsmu.ru

Abstract. We present an audio-based approach to automatic detection of sleep apnea events using a cascaded deep-learning architecture. The current pipeline uses a convolutional neural network (SimpleApneaClassifier) for multi-label classification of four respiratory event types (hypopnea, desaturation, apnea, paradoxical respiratory movements) complemented by cascade post-processing for snore/apnea.

Keywords: sleep apnea, mel-spectrogram, convolutional neural networks, cascaded model

Синдром обструктивного апноэ сна представляет собой распространенное расстройство, характеризующееся повторяющимися эпизодами частичной или полной обструкции верхних дыхательных путей во время сна, что приводит к гипоксии, фрагментации сна и повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний; стандартным методом диагностики является полисомнография, включающая мониторинг множества физиологических сигналов в клинических условиях, однако она требует специализированного оборудования и квалифицированного персонала, что ограничивает ее доступность [1]. В последние годы активно развиваются неинвазивные альтернативы, такие как анализ аудиосигналов дыхания с использованием методов глубокого обучения, позволяющих автоматически детектировать события апноэ по звукам трахеи или ЭКГ-сигналам, демонстрируя высокую точность сопоставимую с экспертной оценкой [2, 3]. Сверточные нейронные сети, успешно применяемые для задач классификации медицинских сигналов, таких как детекция аритмий, открывают перспективы для создания каскадных архитектур, интегрирующих предобработку и постобработку для повышения робастности моделей [4, 5].

Целью работы является разработка и оценка подхода к автоматическому обнаружению событий апноэ сна по аудиосигналу на основе каскадной архитектуры глубокого обучения, включающей сверточную нейронную сеть для многометочной классификации респираторных событий и постобработку для детекции храпа и апноэ.

Материалами исследования послужили полисомнографические записи с аннотациями событий апноэ, аудиозаписи дыхания длительностью 6–8 ч и экспертная разметка по четырем классам событий (гипопноэ, десатурация, апноэ, парадоксальные дыхательные движения). Предобработка данных включала ресемплинг аудио до 16 кГц с нормализацией при высокой дисперсии (делением на $2 \times \text{std}$), сегментацию на окна по 30 с, вычисление мел-спектрограмм (128 мел-фильтров) и их нормализацию ($\mu = 0$, $\sigma = 1$). Архитектура модели состояла из четырех компонентов: CNN-энкодера мел-спектрограмм с тремя свёрточными блоками ($\text{Conv2d} \rightarrow \text{BatchNorm} \rightarrow \text{ReLU} \rightarrow \text{MaxPool } 2 \times 2$; каналы $1 \rightarrow 32$, $32 \rightarrow 64$, $64 \rightarrow 128$, ядро 3×3 , $\text{padding} = 1$) и $\text{AdaptiveAvgPool2d } (4 \times 4)$; классификационной головы с полносвязными слоями ($128 \times 4 \times 4 \rightarrow 512$

с Dropout 0.5, 512 → 256 с Dropout 0.3, 256 → 4 выхода с сигмоидой и порогованием).

Сигмоидальное преобразование вероятностей и порогование:

$$\hat{p} = \sigma(z), \hat{y}_c = 1\{\hat{p}_c \geq 0.3\}. \quad (1)$$

В последующем проводилось каскадная постобработка (RobustCascadePipeline) для добавления событий cascadeApnea (по энергии в скользящем окне с робастным порогом) и cascadeSnore (многоуровневый детектор на 2-секундных окнах с объединением и спектральной проверкой). Для обучения применялась взвешенная Binary Cross-Entropy и Focal Loss ($\alpha = 1, \gamma = 2$) с весами классов для баланса,

Взвешенная Binary Cross-Entropy:

$$L = -\sum_i w_i [y_i \log(\sigma(x_i)) + (1 - y_i) / \log(1 - \sigma(x_i))], \quad (2)$$

где w_i – веса классов для решения проблемы несбалансированности.

Focal Loss:

$$FL = -\alpha(1 - p_t)^\gamma \log(p_t), \quad (3)$$

где $\alpha = 1, \gamma = 2$ для фокусировки на сложных примерах.

Был применен оптимизатор Adam с OneCycle LR, EarlyStopping, SaveBest и Dropout 0,3-0,5; данные разделены 80/20 (обучение/валидация), батч 32, эпохи 30 с patience = 5, mixed precision FP16 на GPU; порог инференса $\tau = 0.3$.

Финальная модель состояла из четырех компонентов: CNN-энкодера мел-спектрограмм, адаптивного усреднения признаков, классификационной головы и каскадной постобработки событий (храп/апноэ).

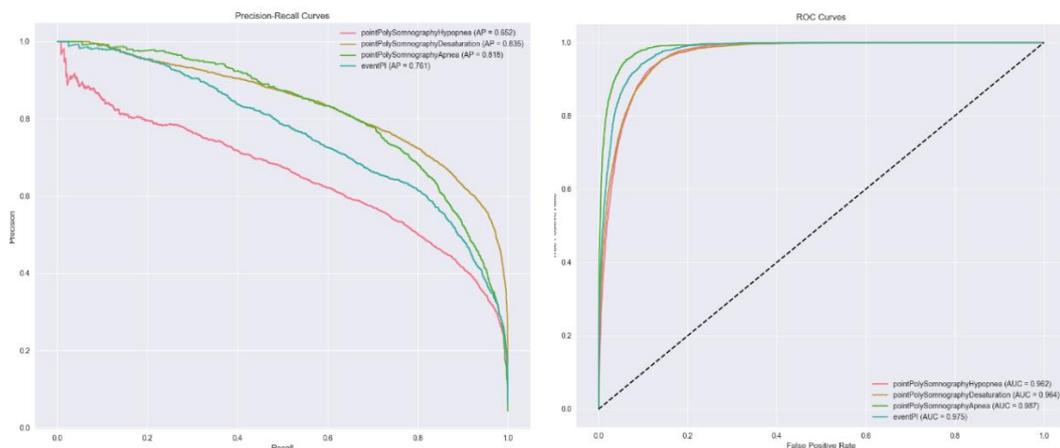
В табл.1 приведены результаты классификации событий, зафиксированных на полисомнограмме.

Таблица 1

Метрики классификаций событий, зафиксированных при проведении полисомнографического исследования

Класс	Precision	Recall	F1-Score	Support
Гипопноэ	0,553	0,732	0,630	3529
Десатурация	0,669	0,866	0,755	7940
Апноэ	0,690	0,793	0,738	2128
Двигательные артефакты	0,643	0,752	0,693	3248

На рис. 1 представлены графики PR-кривые и ROC-кривые основных классов событий детектируемых по данным полисомнографического исследования.



● Гиппноэ ● Десатурация ● Апноэ ● Двигательные артефакты

Рис. 1. PR-кривые (per-class) Рис. 2. ROC-кривые (per-class)

Разработанный подход к автоматическому обнаружению событий апноэ сна по аудиосигналу на основе каскадной архитектуры глубокого обучения показал высокую эффективность, обеспечивая точность классификации респираторных событий (гиппноэ, десатурация, апноэ, парадоксальные дыхательные движения) с F1-Score в диапазоне 0.630-0.755 и общим micro avg F1-Score 0.715. Использование сверточной нейронной сети Simple ApneaClassifier в сочетании с каскадной постобработкой (RobustCascadePipeline) для детекции храпа и апноэ позволило повысить робастность модели, а применение взвешенной Binary Cross-Entropy и Focal Loss эффективно решило проблему несбалансированности классов. Данный метод представляет перспективную альтернативу традиционной полисомнографии, открывая возможности для создания доступных неинвазивных систем мониторинга апноэ сна в домашних условиях.

Список литературы

1. Kushida C. A., Littner M. R., Morgenthaler T. [et al.]. Practice parameters for the indications for polysomnography and related procedures: an update for 2005 // Sleep. 2005. Vol. 28, № 4. P. 499–521.
2. Mesquita J., Pinho J., Vieira J. [et al.]. Deep learning for automatic detection of sleep apnea events from tracheal sound // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. 2021. Vol. 25, № 11. P. 4136–4147.

3. Chang H., Wu C., Lin S. [et al.]. Automatic detection of obstructive sleep apnea events using deep learning and single-lead ECG signals // *Physiological Measurement*. 2020. Vol. 41, № 9. Art. 094006.

4. Hannun A. Y., Rajpurkar P., Haghpanahi M. [et al.]. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks // *Nature Medicine*. 2019. Vol. 25. P. 65–69.

5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. *Deep Learning*. Cambridge, MA : MIT Press, 2016. 775 p.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТАДИЙ СНА ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНОЙ CNN-ТРАНСФОРМЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

**Александр Владимирович Захаров¹,
Антон Олегович Щепетов²**

*^{1,2}Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹a.v.zaharov@samsmu.ru

²a.o.schepetov@samsmu.ru

Аннотация. Автоматическая классификация стадий сна является ключевой задачей в клинической практике для диагностики нарушений сна. Традиционные методы, основанные на ручном извлечении признаков, требуют экспертных знаний и часто имеют ограниченную точность. Современные подходы глубокого обучения, сочетающие сверточные и основанные на механизмах внимания архитектуры, демонстрируют превосходную производительность при анализе электроэнцефалографических сигналов. Представлена гибридная CNN-трансформерная модель, которая эффективно классифицирует пять стадий сна: N1, N2, N3, REM и Wake – с использованием временных признаков разного масштаба, извлеченных через двухканальные сверточные сети и уточненных с помощью трансформерного энкодера с блоками Squeeze-and-Excitation. Модель использует активацию GELU и оптимизатор AdamW для улучшения сходимости и обобщающей способности. Оценка на стандартном публичном наборе данных электроэнцефалограммы показала, что предложенный подход достигает макроF1-оценки 0.84, превосходя традиционные методы при сохранении вычислительной эффективности. Результаты демонстрируют потенциал модели для интеграции в системы автоматизированной полисомнографии.

Ключевые слова: классификация стадий сна, глубокое обучение, сверточная нейронная сеть, трансформерный энкодер

AUTOMATIC SLEEP STAGE CLASSIFICATION FROM ELECTROENCEPHALOGRAM SIGNALS USING A HYBRID CNN-TRANSFORMER ARCHITECTURE

Alexander V. Zakharov¹, Anton O. Schepetov²

^{1,2}Samara State Medical University, Samara, Russia

¹a.v.zaharov@samsmu.ru

²a.o.schepetov@samsmu.ru

Abstract. Automatic sleep stage classification is a critical task in clinical practice for diagnosing sleep disorders. Traditional methods relying on manual feature extraction require expert knowledge and often suffer from limited accuracy. Recent deep learning approaches combining convolutional and attention-based architectures have demonstrated superior performance in analyzing EEG signals. In this work, we present a hybrid CNN-transformer model that effectively classifies five sleep stages – N1, N2, N3, REM, and Wake – using multi-scale temporal features extracted via dual-path convolutional networks and refined by a transformer encoder with Squeeze-and-Excitation blocks. The model employs GELU activation and the AdamW optimizer to enhance convergence and generalization. Evaluated on a standard public EEG dataset, the proposed approach achieves a macro F1-score of 0.84, outperforming conventional methods while maintaining computational efficiency. The results demonstrate its potential for integration into automated polysomnography systems.

Keywords: sleep stage classification, deep learning, convolutional neural network, transformer encoder

Классификация стадий сна является фундаментальной задачей в сомнологии, позволяющей диагностировать нарушения сна на основе анализа электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов, где стандартные правила оценки, такие как система Rechtschaffen и Kales, определяют пять основных стадий: Wake, N1, N2, N3 и REM [1]. Традиционные методы, основанные на ручном извлечении признаков, часто сталкиваются с ограничениями в точности и требуют значительных экспертных знаний, что стимулирует развитие автоматизированных подходов с использованием глубокого обучения [2]. В частности, сверточные нейронные сети, такие как EEGNet, демонстрируют эффективность в обработке ЭЭГ-сигналов для интерфейсов мозг-компьютер, обеспечивая компактность и высокую производительность [2].

Современные гибридные архитектуры интегрируют механизмы внимания для фокусировки на релевантных временных сегментах, как в модели Transformer [3], используют Squeeze-and-Excitation блоки для адаптивного взвешивания каналов, улучшая представление сложных паттернов [4]. Для повышения стабильности обучения применяются продвинутое функции активации, такие как Gaussian Error Linear Units (GELU), обеспечивающие плавную нелинейность [5], и оптимизаторы вроде AdamW с декомпозицией весов, что способствует лучшей обобщающей способности моделей [6]. Такие инновации открывают перспективы для создания эффективных систем автоматической классификации стадий сна, интегрируемых в полисомнографию.

Материалами исследования послужили ЭЭГ-сигналы из стандартного публичного датасета, предназначенного для задач классификации стадий сна, где данные включают записи с аннотациями по пяти классам (Wake, N1, N2, N3, REM). Предобработка сигналов предполагала сегментацию на эпохи и нормализацию, с последующим извлечением признаков через многоуровневую сверточную сеть (MRCNN), состоящую из двух ветвей: одной с малым ядром для локальных паттернов и другой с большим ядром для глобальных изменений в ЭЭГ. После объединения признаков применялся SEBasicBlock с механизмом Squeeze-and-Excitation для адаптивного взвешивания каналов по формуле, где используется сигмоида и нелинейная активация для улучшения представления.

Методы включали обработку признаков через Transformer Encoder (TCE) с многослойным механизмом внимания по формуле с использованием softmax для фокусировки на релевантных сегментах. В полносвязных блоках применялась активация GELU по формуле с кумулятивной функцией нормального распределения для стабильной сходимости, а обучение проводилось с оптимизатором AdamW с весовой декомпозицией по формуле, где учитываются скорость обучения и коэффициент декомпозиции. Оценка модели проводилась на валидационной выборке с метриками precision, recall и F1-score, демонстрируя превосходство над традиционными методами.

Модель состоит из четырех основных компонентов: PatchEmbeddingCNN, позиционного кодирования, трансформерного энкодера и классификационной головы. Модель использует MRCNN для извлечения признаков на разных временных масштабах:

1. Ветвь 1 (малое ядро): Сверточные слои с малым размером ядра для захвата локальных паттернов в сигнале. Эти слои обеспечивают высокую временную разрешающую способность для анализа быстрых изменений в ЭЭГ.

2. Ветвь 2 (большое ядро): Сверточные слои с большим размером ядра для захвата глобальных паттернов. Эти слои обеспечивают низкую временную разрешающую способность для анализа медленных изменений в ЭЭГ.

После объединения признаков применяется SEBasicBlock с механизмом Squeeze-and-Excitation:

$$y = x * \sigma \left(W_2 \delta(W_1 \text{avgpool}(x)) \right), \quad (1)$$

где σ – сигмоида, δ – нелинейная активация; W_1, W_2 – обучаемые веса. Это позволяет адаптивно взвешивать каналы по их важности, улучшая представление для сложных ЭЭГ-паттернов.

После MRCNN признаки обрабатываются Transformer Encoder (TCE) с многослойным механизмом внимания:

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax} \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right) V, \quad (2)$$

где $d_k = 10$ – размерность ключей.

Механизм внимания позволяет модели фокусироваться на наиболее релевантных временных сегментах сигнала, что критично для классификации стадий сна.

В полносвязных блоках используется функция активации GELU [2] (Gaussian Error Linear Unit):

$$\text{GELU}(x) = x * \phi(x) = x * \frac{1}{2} \left[1 + \text{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \right], \quad (3)$$

где $\phi(x)$ – кумулятивная функция стандартного нормального распределения.

GELU обеспечивает более плавную нелинейность по сравнению с ReLU, что способствует стабильной сходимости и улучшает обобщающую способность модели.

Для обучения используется оптимизатор AdamW [3] с весовой декомпозицией:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \left(\frac{\widehat{m}_t}{\sqrt{\widehat{u}_t + \epsilon}} + \lambda \theta_t \right), \quad (4)$$

где $\eta = 0.001$ – скорость обучения, $\lambda = 0.01$ – коэффициент весовой декомпозиции.

AdamW улучшает обобщающую способность модели по сравнению с классическим Adam.

В табл. 1 представлены полученные метрики, отражающие качество работы модели.

Метрики классификации по классам стадий сна

Класс	precision	recall	F1-score
Wake	0,97	0,94	0,95
N1	0,65	0,74	0,69
N2	0,90	0,95	0,93
N3	0,97	0,91	0,94
REM	0,91	0,88	0,90

Разработанная гибридная CNN-трансформерная модель для автоматической классификации стадий сна по ЭЭГ-сигналам показала высокую эффективность, достигнув макро F1-score 0.84, что превосходит традиционные методы, основанные на ручном извлечении признаков. Интеграция многоуровневой сверточной сети (MRCNN) с двумя ветвями для локальных и глобальных паттернов, блока Squeeze-and-Excitation для адаптивного взвешивания каналов, трансформерного энкодера с механизмом внимания и активации GELU, а также использование оптимизатора AdamW обеспечили стабильную сходимость и высокую обобщающую способность. Модель демонстрирует потенциал для интеграции в системы автоматизированной полисомнографии, что может значительно повысить доступность и эффективность диагностики нарушений сна в клинической практике.

Список литературы

1. Rechtschaffen A., Kales A. A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Bethesda : National Institutes of Health, 1968.
2. Lawhern V. J. [et al.]. EEGNet: A compact convolutional neural network for EEG-based brain-computer interfaces // Journal of Neural Engineering. 2018. Vol. 15, № 5. P. 056013. doi: 10.1088/1741-2552/aace8c
3. Vaswani A. [et al.]. Attention is all you need // Advances in Neural Information Processing Systems. 2017. Vol. 30. P. 5998–6008.
4. Hu J. [et al.]. Squeeze-and-Excitation Networks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2018. P. 7132–7141. doi: 10.1109/CVPR.2018.00745
5. Hendrycks D., Gimpel K. Gaussian error linear units (GELUs) : arXiv preprint. 2016. doi: 10.48550/arXiv.1606.08415
6. Loshchilov I., Hutter F. Decoupled weight decay regularization // International Conference on Learning Representations (ICLR). 2019. URL: <https://openreview.net/forum?id=Bkg6RiCqY7>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ АНАЛИЗА КОЛОНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Никита Валерьевич Котов¹,
Александр Николаевич Ганин²,
Денис Борисович Волков³,
Александр Евгеньевич Назаровский⁴**

*^{1,2,3,4}Ярославский государственный университет
имени П. Г. Демидова, г. Ярославль, Россия*

*⁴Ярославский государственный медицинский университет,
г. Ярославль, Россия*

¹nik-kotov-98@inbox.ru

^{2,3,4}dcslab@uniyar.ac.ru

Аннотация. Оптический поток представляет собой ключевой инструмент компьютерного зрения, применяемый для анализа видеопотоков колоноскопии. Его использование позволяет повысить точность детекции и трекинга полипов за счет учета временной согласованности между последовательными кадрами. Современные подходы интегрируют оптический поток в архитектуры глубокого обучения, в частности в двухпоточковые нейронные сети, что обеспечивает эффективное объединение пространственных и временных признаков. Кроме того, оптический поток применяется для оценки движения эндоскопа, навигации и трехмерной реконструкции внутренней поверхности кишечника. Несмотря на наличие артефактов в эндоскопических видеоданных, развитие гибридных моделей и создание специализированных обучающих наборов данных продолжают расширять возможности применения оптического потока в задачах колоноскопии.

Ключевые слова: оптический поток, колоноскопия, контроль качества, компьютерное зрение, глубокое машинное обучение

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания на осуществление научных исследований и разработок ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Минздрава России на 2025 г. по теме «Система поддержки принятия врачебного решения при дифференцировке глубины инвазии новообразований толстой кишки на основе искусственного интеллекта» (№ 720000Ф.99.1.БН 62АБ20000).

STUDY OF THE APPLICABILITY OF OPTICAL FLOW CALCULATION ALGORITHMS FOR COLONOSCOPIC IMAGE ANALYSIS

**Nikita V. Kotov¹, Alexander N. Ganin², Denis B. Volkov³,
Alexander E. Nazarovsky⁴**

^{1,2,3,4}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

⁴Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

¹nik-kotov-98@inbox.ru

^{2,3,4}dcslab@uniyar.ac.ru

Abstract. Optical flow is a key computer vision tool used to analyze colonoscopy video streams. Its use improves the accuracy of polyp detection and tracking by accounting for the temporal consistency between successive frames. Modern approaches integrate optical flow into deep learning architectures, particularly two-stream neural networks, which effectively combine spatial and temporal features. Furthermore, optical flow is used to estimate endoscope motion, navigation, and 3D reconstruction of the colon's internal surface. Despite the presence of artifacts in endoscopic video data, the development of hybrid models and the creation of specialized datasets continue to expand the potential of optical flow for colonoscopy.

Keywords: optical flow, colonoscopy, quality control, computer vision, deep learning

Funding: the work was prepared as part of the state assignment for scientific research and development by the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation for 2025 on the topic "Artificial Intelligence-Based Decision Support System for Differentiating the Depth of Invasion of Colorectal Neoplasms" (№ 720000F.99.1.BN 62AB20000).

Колоноскопия является основным методом скрининга колоректального рака. Своевременное выявление и удаление колоректальных полипов способно значительно снизить смертность от данного заболевания. Однако при традиционной эндоскопии до 25–26 % аденом остаются нераспознанными [1]. Для повышения точности и автоматизации анализа колоноскопических исследований активно применяются методы компьютерного зрения, в том числе основанные на расчете оптического потока.

Целью настоящей работы является исследование применимости алгоритмов расчета оптического потока к анализу колоноскопических изображений. Полученные результаты позволят сформулировать рекомендации по интеграции оптического потока

в системы глубокого обучения для повышения устойчивости детекции патологических объектов.

Описание алгоритмов. Оптический поток – это векторное поле, описывающее кажущееся движение яркостных структур между кадрами. При условии сохранения яркости $I(x, y, t) = \text{const}$ вдоль траектории движения элемента изображения справедливо следующее уравнение оптического потока:

$$I_x u + I_y v + I_t = 0, \quad (1)$$

где I_x, I_y, I_t – частные производные интенсивности изображения по пространственным координатам и времени соответственно, u, v – компоненты вектора оптического потока. Уравнение (1) является недоопределенным (одно уравнение при двух неизвестных), что требует введения дополнительных ограничений. Например, в методе Хорна-Шунка [2] предполагается гладкость поля оптического потока, что формализуется минимизацией функционала:

$$E(u, v) = \iint_{\Omega} \left[(I_x u + I_y v + I_t)^2 + \alpha^2 (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2) \right] dx dy, \quad (2)$$

где $\alpha > 0$ – параметр регуляризации, контролирующей степень гладкости поля (u, v) . Минимизация функционала (2) приводит к системе дифференциальных уравнений в частных производных, решение которой позволяет оценить оптический поток.

В современных методах и алгоритмах глубокого машинного обучения вычисление оптического потока формулируется как задача регрессии:

$$v = F_{\theta}(I_t, I_{t+1}), \quad (3)$$

где F_{θ} – нейросеть с параметрами θ , обучаемая путем минимизации функции потерь.

В задаче автоматического детектирования патологий на видеоданных часто используются комбинированные методы, где оптический поток необходим для учета временной согласованности. Так, Zheng и др. (2019) предложили алгоритм, который сначала сегментирует полип на каждом отдельном кадре с помощью сети U-Net [3], а затем применяет оптический поток для переноса и объединения информации о полипе между соседними кадрами [4]. Центр новообразования определяется в текущем кадре и отслеживается с учетом движения, аппроксимированного методом оптического потока. Если поток перестает корректно отслеживать объект, метод включает «on-the-fly» дообучаемую классификацию, анализирующую фрагменты соседних кадров и принимающую решение о продолжении слежения [4].

Оптический поток также используется в многопоточковых архитектурах нейронных сетей. Например, Gan и др. (2025) разработали двухпоточковый трансформер-детектор полипов TS-PDTR: один поток обрабатывает RGB-кадры, а второй – матрицу оптического потока между кадрами [5]. Далее специально построенные блоки объединяют пространственные и временные признаки, усиливая чувствительность модели к малым или скрытым новообразованиям [5].

Другие исследователи, такие как Zhou и др. (2021) [6], интегрируют оптический поток в архитектуры глубоких нейронных сетей (например, FlowNet [7]), обучая модели на аннотированных эндоскопических видеоданных. Это позволяет повысить чувствительность систем автоматического скрининга новообразований, особенно в условиях быстрого перемещения эндоскопа.

В исследовании [8] авторы используют комбинированный подход с использованием оптического потока для обнаружения купола слепой кишки на колоноскопической видеозаписи. На рис. 1 представлена визуализация работы алгоритма оптического потока совместно с детектированием объектов на изображениях.

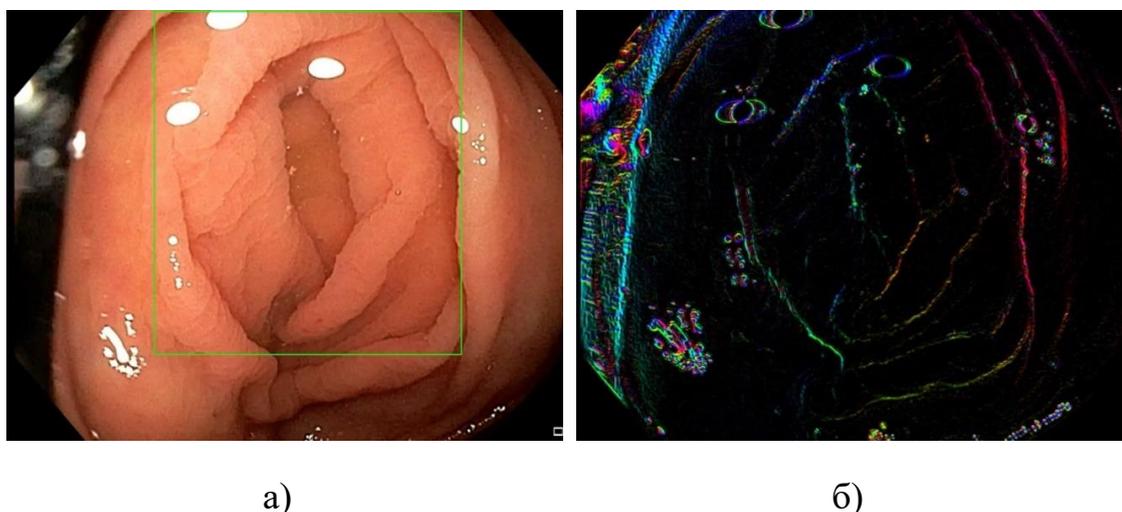


Рис. 1. Визуализация работы алгоритмов: а) нейросетевой детектор; б) оптический поток, рассчитанный методом Хорна-Шунка

Кроме детектирования применялись алгоритм расчета оптического потока для определения направления движения эндоскопа и алгоритм ситуационной логики, что позволило снизить количество ложноположительных срабатываний в колоноскопических исследованиях и повысить устойчивость детектирования объектов.

Таким образом, алгоритм расчета оптического потока выступает важным инструментом в интеллектуальных системах колоноскопии: он дополняет пространственную информацию кадра временной, повышая точность обнаружения полипов и обеспечивая оценку динамики. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение надежности вычисления потока в клинических условиях и на глубокую интеграцию его результатов в различные аспекты компьютерной поддержки эндоскопических исследований.

Список литературы

1. Golhar M. V., Patel R. K., Sharma A. [et al.]. C3VDv2 – Colonoscopy 3D video dataset with enhanced realism : arXiv preprint. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2506.24074> (дата обращения: 10.10.2025).
2. Horn B. K. P., Schunck B. G. Determining optical flow // Artificial Intelligence. 1981. Vol. 17, № 1-3. P. 185–203.
3. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015 : Proc. of the 18th Int. Conf. Cham : Springer, 2015. P. 234–241.
4. Zheng H., Wang Y., Wang L. [et al.]. Polyp tracking in video colonoscopy using optical flow with an on-the-fly trained CNN // 2019 IEEE 16th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI). Venice, 2019. P. 79–82.
5. Gan T., Li X., Zhang Y. [et al.]. Revisiting Challenges in Real-world Video Colonoscopy using End-to-End Two Stream Polyp Detection Transformer (TS-PDTR) // Journal of Medical Systems. 2025. Vol. 49, № 1. Art. 129.
6. Zhou J., Wang Q., Liu Y. [et al.]. EndoFlow: Real-Time Optical Flow Estimation for Endoscopic Video Analysis // Medical Image Analysis. 2021. Vol. 72. Art. 102102.
7. Dosovitskiy A., Fischer P., Ilg E. [et al.]. FlowNet: Learning optical flow with convolutional networks // Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). Santiago, 2015. P. 2758–2766.
8. Хрящев В. В., Котов Н. В., Тихомиров А. А., Ненахов И. С. Комбинированный алгоритм анализа изображений для контроля качества колоноскопического исследования // Биомедицинская радиоэлектроника. 2025. № 1. С. 64–74.

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Леонид Юрьевич Кривоногов¹,
Дарина Владимировна Улыбина²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹leonidkrivonogov@yandex.ru

²ulybina.darina@yandex.ru

Аннотация. Рентгенографическая диагностика сохраняет первостепенное значение в клинической практике, однако достоверность результатов существенно ограничена субъективностью визуальной оценки снимков. Отсутствие унифицированных подходов к контролю качества изображений затрудняет сопоставимость данных и стандартизацию диагностических процедур. Представлено приложение для автоматизированной оценки качества рентгеновских изображений на основе вычисления и комплексного анализа различных метрик. Программа обеспечивает пакетную обработку данных, объективное сравнение с эталонными образцами и формирование стандартизированных протоколов оценки. Внедрение системы позволяет минимизировать субъективный фактор в диагностике, установить единые критерии качества визуализации и повысить воспроизводимость результатов в рентгенологической практике.

Ключевые слова: качество рентгеновских изображений, объективная оценка, приложение, обработка изображений, контроль качества, Python, рентгенография

APPLICATION FOR ASSESSING THE QUALITY OF X-RAY IMAGES

Leonid Yu. Krivonogov¹, Darina V. Ulybina²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹leonidkrivonogov@yandex.ru

²ulybina.darina@yandex.ru

Abstract. Radiographic diagnostics maintains its paramount importance in clinical practice; however, the reliability of results is significantly limited by the subjectivity of visual image assessment. The absence of unified approaches to image quality control hinders data comparability and standardization of diagnostic

procedures. This article presents an application for automated quality assessment of X-ray images based on the calculation and comprehensive analysis of various metrics. The software enables batch data processing, objective comparison with reference samples, and generation of standardized evaluation protocols. System implementation helps minimize subjective factors in diagnostics, establish unified visualization quality criteria, and enhance result reproducibility in radiological practice.

Keywords: X-ray image quality, objective assessment, application, image processing, quality control, Python, radiography

Рентгеновская визуализация остаётся одним из наиболее востребованных методов медицинской диагностики, несмотря на появление новых технологий. Её универсальность и информативность обеспечивают широкое применение в различных клинических направлениях – от экстренной травматологии до сложных онкологических исследований. Однако эффективность этого метода в решающей степени зависит от качества получаемых изображений, которое, в свою очередь, определяется множеством взаимосвязанных факторов.

Визуальный анализ рентгенограмм опытными специалистами остаётся «золотым стандартом» в практической рентгенологии, поскольку только врач может комплексно оценить соответствие изображения диагностическим задачам. Однако такая оценка неизбежно содержит элемент субъективности, что требует разработки стандартизированных подходов. Наиболее целесообразно проводить объективную оценку качества, которая в отличие от субъективных методов позволяет получить воспроизводимые и сопоставимые результаты.

Существующие коммерческие решения часто интегрированы в дорогостоящую аппаратуру и не всегда доступны для оперативной оценки качества изображений в реальных клинических условиях или для научных исследований. В данной работе представлено самостоятельное кроссплатформенное приложение, разработанное на Python, которое объединяет в себе комплекс алгоритмов для всесторонней объективной оценки качества рентгеновских изображений.

Материалы и методы

Приложение разработано на языке Python с использованием библиотек для научных вычислений и построения GUI. Основной

каркас интерфейса создан с помощью tkinter. Для обработки изображений и вычисления метрик задействованы библиотеки OpenCV, scikit-image, SciPy и pydicom (для работы с DICOM-файлами). Визуализация результатов и генерация отчетов реализованы с помощью matplotlib.

Архитектура приложения построена вокруг главного класса ImageQualityAssessmentApp, который инкапсулирует весь функционал: от управления GUI до вычисления сложных метрик качества.

Для всесторонней оценки были реализованы метрики качества изображений, как с применением эталонного (референтного) изображения, так и безреферентные метрики, не требующие эталона.

При наличии эталонного изображения вычисляются следующие метрики:

- пиковое отношение сигнал/шум (Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) – классическая метрика для оценки отношения максимально возможной мощности сигнала к мощности шума [1–3];
- среднеквадратическая ошибка (**Mean Squared Error, MSE**) между двумя изображениями [1, 3];
- индекс структурного сходства (Structural Similarity Index Measure, SSIM) – более современная метрика, учитывающая структуру, яркость и контраст изображений [1, 2].

К метрикам, не требующим эталонного сравнения, относятся:

- энтропия – мера информационной насыщенности изображения [4];
- дисперсия лапласиана – эффективный показатель резкости изображения, где высокие значения указывают на четкое изображение [5];
- отношение сигнал/шум (Signal-to-Noise Ratio, SNR) [6, 7];
- отношение контраст/шум (Contrast-to-Noise Ratio, CNR) – фундаментальные метрики, оценивающие уровень полезного сигнала и контраста относительно шума [1];
- динамический диапазон, определяющий диапазон яркостей, который может захватить изображение [8];
- резкость границ – количественная оценка четкости краев объектов на основе оператора Собеля [9];

– гистограмма локальных бинарных паттернов (Local Binary Pattern Histogram), текстурная метрика, описывающая распределение локальных паттернов, что может быть полезно для анализа зернистости [10].

Интерфейс приложения разделен на логические блоки. Панель управления позволяет загружать изображения, устанавливать эталонный снимок и запускать анализ. Область визуализации предназначена для просмотра текущего выбранного изображения. Во вкладке с метриками представлено табличное представление всех рассчитанных показателей для выбранного снимка с цветовой индикацией. Вкладка с графиками содержит сводные столбчатые диаграммы по всем метрикам для всех загруженных изображений. Функция сравнения открывает отдельное окно для детального попарного сравнения группы снимков с выбранным эталоном. Модуль генерации отчетов создает комплексный PDF-отчет, включающий исходные изображения, таблицы метрик, графики и текстовые рекомендации.

Результаты и обсуждение

Приложение было протестировано на наборе клинических рентгеновских снимков различных анатомических областей. Программа успешно загружала и обрабатывала как DICOM, так и растровые форматы. Расчет всех метрик выполнялся корректно, интерфейс оставался отзывчивым даже при работе с десятками изображений.

Для демонстрации возможностей приложения был проведен сравнительный анализ серии снимков. Результаты наглядно показали, что изображения с шумом демонстрировали значительное уменьшение PSNR и SSIM при сравнении с эталоном, а также снижение SNR и CNR. Нечеткие изображения показывали низкие значения дисперсии лапласиана и метрики резкости границ. Качественные снимки стабильно получали высокие оценки по большинству ключевых метрик.

Разработанное приложение обладает рядом преимуществ. Комплексный подход, объединяющий множество различных метрик в одном приложении, дает более полную картину, чем оценка по одному параметру. Эффективность выражается в автоматизации рутинного процесса контроля качества, что экономит время специалистов. Наглядность визуального представления данных

в виде графиков и цветовых кодов облегчает интерпретацию результатов. Кроме того, приложение может использоваться в учебном процессе для подготовки врачей-рентгенологов.

Представленное приложение для объективной комплексной оценки качества рентгеновских изображений успешно реализует широкий спектр стандартных и современных метрик качества, предоставляя удобный интерфейс клиническим специалистам и исследователям.

Инструмент позволяет стандартизировать процесс контроля качества диагностических изображений, способствуя повышению надежности и точности рентгенологических исследований. Перспектива развития проекта заключается в интеграции алгоритмов машинного обучения для автоматической классификации дефектов изображений и генерации рекомендаций по коррекции параметров съемки.

Список литературы

1. Mudeng V., Kim M. Prospects of Structural Similarity Index for Medical Image Analysis // Journal of Applied Sciences. 2022. № 12 (8). P. 3754. doi: 10.3390/app12083754
2. Thung K.-H., Raveendran P. A. Survey of Image Quality Assessment Metrics // International Conference for Technical Postgraduates (TECHPOS). Kuala Lumpur, 2009. P. 1–4. doi: 10.1186/s12938-024-01280-6
3. Керенцева Н. Д., Трофимов А. И. Аналитический обзор метрик, используемых для оценки качества мультимедийной информации // НБИ-технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 27–31. doi: 10.15688/NBIT.jvolsu.2022.3.5
4. Studholme C., Hill D. L. G., Hawkes D. J. An overlap invariant entropy measure of 3D medical image alignment // Journal of Pattern Recognition. 1999. № 32 (1). P. 71–86. doi: 10.1016/S0031-3203(98)00091-0
5. Ravi K. S., Nandakumar G., Thomas N. [et al.]. Accelerated MRI using intelligent protocolling and subject-specific denoising applied to Alzheimer's disease imaging // Front Neuroimaging. 2023. № 2. P. 1072759. doi: 10.3389/fnimg.2023.1072759
6. Steckner M. C., Liu B., Ying L. A new single acquisition, two-image difference method for determining MR image SNR // Med Phys. 2009. № 36 (2). P. 662–671. doi: 10.1118/1.3036118
7. Yuhara T., Numano T. Improvement of SNR When Adding X-ray Images with Different SNRs // Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi. 2020. № 76 (8). P. 828–836. doi: 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.8.828

8. Park W. J., Ji S. W., Kang S. J. [et al.]. Stereo Vision-Based High Dynamic Range Imaging Using Differently-Exposed Image Pair // *Sensors (Basel)*. 2017. № 17 (7). P. 1473. doi: 10.3390/s17071473

9. Ahmad R., Ding Y., Simonetti O. P. Edge Sharpness Assessment by Parametric Modeling: Application to Magnetic Resonance Imaging // *Concepts Magn Reson Part A Bridg Educ Res*. 2015. № 44 (3). P. 138–149. doi: 10.1002/cmr.a.21339

10. K. A., S. R., C. K., Lai W.-C., Srividhya S. R., Naresh K. A Modified LBP Operator-Based Optimized Fuzzy Art Map Medical Image Retrieval System for Disease Diagnosis and Prediction // *Biomedicines*. 2022. № 10 (10). P. 2438. doi: 10.3390/biomedicines10102438

EDUCATIONAL PLATFORM FOR MACHINE LEARNING REGRESSION OF REACTION TIME BASED ON ELECTROENCEPHALOGRAM FEATURES

Nikola Petrović¹, Filip Đorđević², Milana Bojanić³,
Svetlana Borojević⁴

^{1,2,3}University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia

*⁴University of Banja Luka, Banja Luka, Republic of Srpska,
Bosnia and Hercegovina*

¹petrovicnikola@uns.ac.rs

⁴svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Abstract. This paper presents an educational platform for exploring machine learning systems performing reaction time regression based on EEG features. The platform unites experts from software engineering, biomedical engineering, and psychology, offering an intuitive interface for parameter tuning and real-time visualization. EEG signals collected during the Trail Making experiment were segmented between clicks to associate each response with spectral features calculated via the Welch method. These features were used to train MLP and SVM regression models. The pilot study with six participants achieved a maximum $R^2 = 0.33$, indicating the potential of this approach and the need for further dataset and model expansion.

Keywords: electroencephalograms, machine learning, reaction time regression, data visualization, educational platform

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ РЕГРЕССИИ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Никола Петровић¹, Филип Джорджевић², Милана Боянич³,
Светлана Бороевић⁴

^{1,2,3}Универзитет Нови-Сад, г. Нови-Сад, Србија

*⁴Универзитет Банија-Лука, г. Банија-Лука, Република Српска,
Боснија и Херцеговина*

¹petrovicnikola@uns.ac.rs

⁴svetlana.borojevic@ff.unibl.org

Аннотация. Представлена образовательная платформа, предназначенная для исследования систем машинного обучения, выполняющих регрессию времени реакции на основе параметров электроэнцефалограммы. Решение объединяет специалистов из программной инженерии, биомедицины и психологии, предлагая удобный интерфейс для настройки параметров моделей и визуализации результатов в реальном времени. Электроэнцефалографические сигналы, полученные в эксперименте Trail Making, были разделены на сегменты между кликами, что позволило связать реакции участников с соответствующими спектральными характеристиками, рассчитанными методом Уэлча. Полученные признаки использовались для обучения моделей MLP и SVM. Пилотный эксперимент с шестью испытуемыми показал достижение максимального значения $R^2 = 0.33$, что подтверждает потенциал подхода и необходимость расширения выборки и архитектур моделей в будущем исследовании.

Ключевые слова: электроэнцефалограммы, машинное обучение, регрессия времени реакции, визуализация данных, образовательная платформа

1. Introduction

Modern research in cognitive neuroscience and biomedical engineering increasingly employs machine learning techniques for the quantitative analysis of electroencephalography (EEG) signals. Among numerous behavioral parameters derived from EEG, *reaction time* represents a key indicator of cognitive performance, reflecting the efficiency of attentional control and stimulus processing speed [1]. However, despite rapid progress in algorithm development, there remains a substantial gap between the fields of software engineering, psychology, and medicine. Constructing, training, and tuning machine learning models often require a level of programming expertise that is not typically possessed by professionals from behavioral sciences. Consequently, collaborative research teams face significant barriers in experimentation, interpretation, and communication of algorithmic results.

To address this challenge, an **educational software platform** has been developed to support both research and teaching activities in EEG-based reaction-time regression. The platform provides an intuitive graphical user interface that allows users without programming experience to modify model parameters, visualize data transformations, and observe changes in performance metrics in real time. The purpose of this system is twofold: (1) to serve as an accessible framework for introducing non-technical users to the principles of machine learning

applied to EEG data, and (2) to facilitate multidisciplinary collaboration by providing a unified framework for model comparison and result visualization.

The data utilized in this study were obtained from a previously conducted **Trail Making experiment**, designed to evaluate selective visual attention [2]. During the experiment, participants interacted with numbered objects on a screen, selecting them in either ascending or descending order while EEG signals were continuously recorded using a wireless headset. Each participant interaction, i.e. click on a selected object, generated a time marker, enabling the segmentation of EEG signals between consecutive clicks. This segmentation allowed for the isolation of EEG epochs corresponding to individual reaction events. For each epoch, five spectral power features were extracted using the Welch transformation, averaged across all channels, and supplemented with an additional categorical feature describing sequence order (ascending or descending). The resulting feature vector served as input to regression models aimed at predicting the reaction time associated with each stimulus-response pair.

To ensure transparency and reproducibility, the machine learning process has been implemented with modular design principles. The platform currently supports **multilayer perceptron (MLP)** and **support vector machine (SVM)** regression algorithms, with the potential for easy integration of additional models. Visualization tools such as histograms and scatter plots enable rapid exploration of relationships between EEG features and predicted outcomes, supporting both pedagogical and analytical objectives.

2. Methodology

Data Structure

The dataset used for model training and visualization originates from a previously conducted Trail Making experiment. For each participant, two corresponding data files were generated: one containing behavioral responses during the experiment and another containing the synchronized EEG measurements. Each file pair is uniquely identified by the subject number, experimental condition, and timestamp, ensuring traceability and consistency across multiple recording sessions. The behavioral data include object indices, screen coordinates, timestamps of user interactions, validation flags indicating whether the selected object followed the required sequence, and inter-response intervals in milliseconds. The associated EEG files contain time-synchronized recordings from five electrode positions (AF3, T7, Pz, T8, AF4),

corresponding to the standard Emotiv Insight channel layout [3]. EEG signal handling and export procedures follow standardized methods for Emotiv Insight data preprocessing [4].

All data are processed using the **Pandas** data analysis library in Python [5], enabling efficient loading, filtering, and temporal alignment of both behavioral and EEG data streams. Each experiment is represented as a structured dataframe, allowing for seamless extraction of EEG segments between consecutive responses and direct association with corresponding behavioral parameters. This format supports subsequent preprocessing steps such as spectral feature computation, averaging, and integration with machine learning models within the developed platform.

Software Architecture

The developed platform was implemented in Python, integrating graphical, analytical, and machine learning modules into a unified framework. The graphical user interface provides access to data visualization, EEG analysis, and model training through a tab-based layout, ensuring intuitive navigation and accessibility for users with varying technical backgrounds. Each module operates on structured EEG and behavioral datasets, enabling real-time parameter manipulation and interactive visualization.

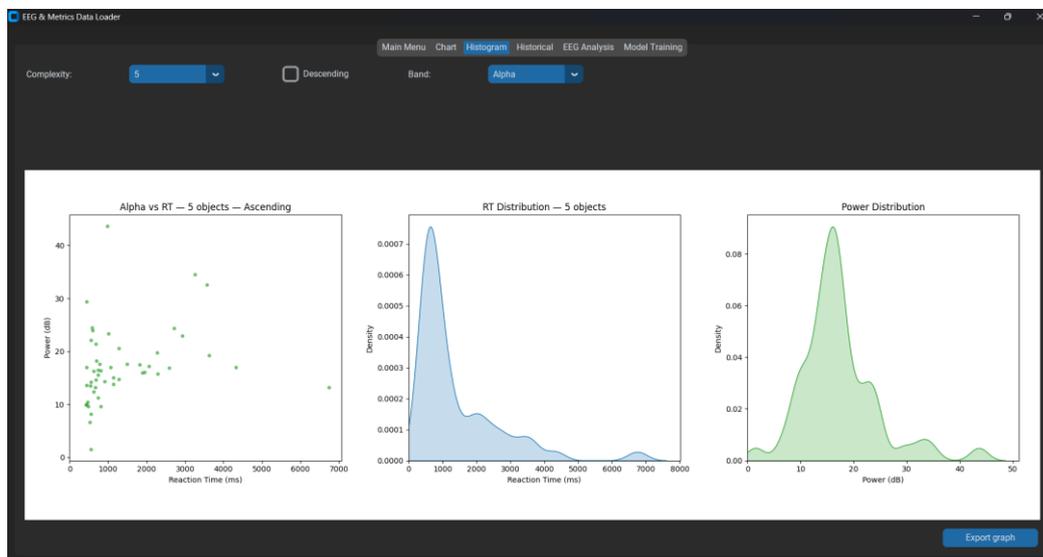


Fig. 1. Histogram analysis view showing relationship between EEG spectral power and reaction time

The **Histogram analysis module**, shown in Figure 1, enables visualization of the relationship between EEG spectral power and reaction

time, accompanied by power spectral density (PSD) distributions for both variables. This feature allows researchers to quickly observe potential correlations between cognitive response metrics and neural activity patterns. In addition, a **historical comparison module** provides averaged visualizations across experimental conditions, displaying variations in reaction time, power spectra, and accuracy for each object within the sequence (1–15), as shown in Figure 2. Together, these tools support both exploratory data analysis and interpretability of regression model behavior, forming the analytical foundation for subsequent machine learning training and validation.

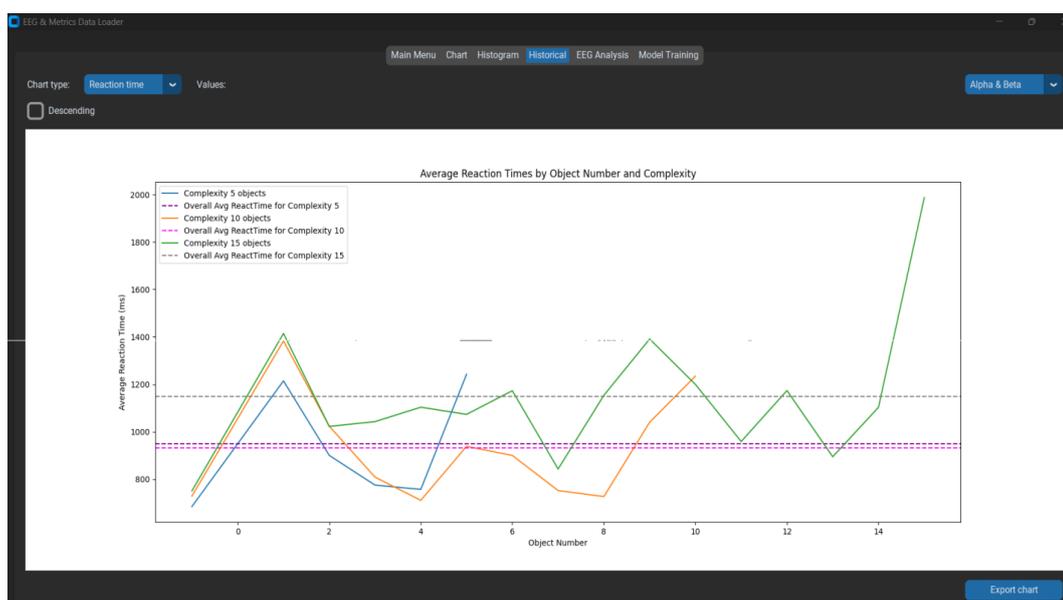


Fig. 2. Historical data visualization displaying average reaction times across object numbers and task complexities

Machine Learning and Training Process

The model training module enables users to configure, execute, and monitor the regression process for predicting reaction time from EEG-derived features. Input features include averaged spectral power values across selected EEG frequency bands (Delta, Theta, Alpha, Beta, Gamma) and the corresponding task complexity level (5, 10, or 15 objects). The interface allows selection between available regression models, currently supporting multilayer perceptron (MLP) and support vector machine (SVM) implementations [6]. Users can adjust parameters such as the number of hidden layers, number of neurons per layer, activation function, and training epochs. Additional configuration options include tolerance and patience values to control early stopping behavior, providing flexibility in model optimization.

During training, progress is displayed in real time, including elapsed time, current epoch, and performance metrics, coefficient of determination (R^2) and mean squared error (MSE). These metrics are visualized dynamically, showing their evolution across epochs to assist in identifying convergence trends. Upon completion, both trained models and generated performance graphs can be exported for further analysis or reuse in subsequent experiments. This module enables rapid experimentation with different neural network configurations and facilitates educational exploration of regression model behavior using EEG-based datasets.

3. Results and Discussion

The model training experiments were conducted using the pre-processed dataset containing averaged EEG spectral power values and task complexity levels as input features. The most consistent results were obtained with a MLP architecture configured with 128 neurons per layer, 10 hidden layers, and a rectified linear unit (ReLU) activation function. The early stopping parameters were set to a tolerance of 0.001 and a patience value of five epochs. Under these conditions, the training converged after approximately 160 epochs, completing in 28.3 seconds. The best recorded coefficient of determination (R^2) reached **0.33**, with the corresponding mean squared error (MSE) steadily decreasing throughout the training process, as illustrated in Figure 3.

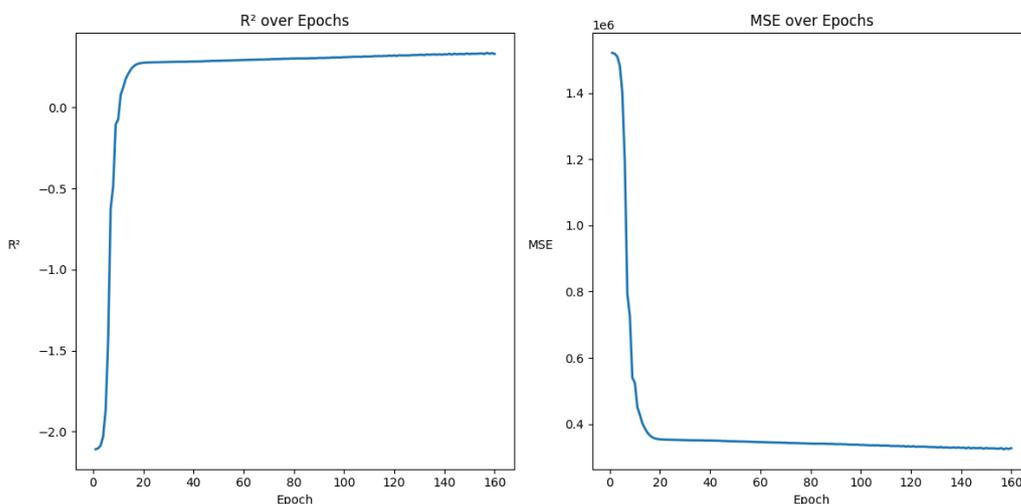


Fig. 3. Training progress of the MLP model showing coefficient of determination (R^2) and mean squared error (MSE) over epochs

Performance sensitivity analysis indicated that removing specific EEG spectral bands, particularly Beta or Gamma, resulted in a noticeable reduction in regression accuracy, confirming their importance in representing cognitive activity during reaction-time tasks. Despite the

relatively low R^2 value, the current dataset remains limited in scale and diversity, encompassing only a small number of subjects, which constrains the statistical significance of the trained models.

Furthermore, the simplification of input features, using averaged spectral values instead of individual channel representations, reduces the model's descriptive capacity. Expanding the feature space to include all five spectral values for each of the five EEG channels (25 total inputs) is expected to improve prediction accuracy at the expense of visualization simplicity and computational transparency.

The graphical interface has demonstrated high usability for non-technical users, enabling psychologists and medical researchers to independently explore parameter configurations and observe training dynamics. This interactive functionality confirms the platform's dual purpose as both an educational tool and a research environment. The achieved results validate the technical feasibility of the system and establish a foundation for future work aimed at enlarging the dataset, refining the machine learning pipeline, and enhancing feature representation for improved model performance.

References

1. Larson M. J., Clayson P. E. The relationship between cognitive performance and electrophysiological indices of performance monitoring // *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*. 2011. Vol. 11, № 2. P. 159–171.
2. Lin Z. [et al.]. Trail making test performance using a touch-sensitive tablet: behavioral kinematics and electroencephalography // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021. Vol. 15. P. 663463.
3. Stoelinga E. Exploring the possibilities of the Emotiv Insight: discriminating between left-and right-handed responses // *Faculty of Science and Engineering*. 2016.
4. Heunis C. Export and analysis of emotiv insight EEG data via EEGLAB // *Developing Alternative Stroke Rehabilitation to Reinforce Neural Pathways and Synapses of Middle Cerebral Artery Stroke Patients*. 2016. Vol. 2016. P. 1–11.
5. McKinney W. Pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics // *Python for high performance and scientific computing*. 2011. Vol. 14, № 9. P. 1–9.
6. Pedregosa F. [et al.]. Scikit-learn: Machine learning in Python // *Journal of machine Learning research*. 2011. Vol. 12. P. 2825–2830

**СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО
ЗАКЛЮЧЕНИЯ В ОНКОГЕМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ:
РАСШИРЕНИЕ КЛАССОВ, МАСШТАБИРОВАНИЕ
ДАННЫХ И ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДИКИ**

**Евгений Валерьевич Поляков¹,
Валентина Викторовна Дмитриева²,
Сергей Юрьевич Дорошин³, Нелли Анатольевна Филатова⁴,
Екатерина Викторовна Шувалова⁵,
Ольга Павловна Колбацкая⁶,
Александр Александрович Дюмин⁷,
Игорь Александрович Климанов⁸**

*^{1,2,5,7}Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва, Россия*

*^{4,6,8}Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
имени Н. Н. Блохина Министерства здравоохранения
Российской Федерации, г. Москва, Россия*

³ООО «Амдокс Солюшнз ЛТД», г. Москва, Россия

¹EVPolyakov@mephi.ru

²dmitrievq@yandex.ru

³sergejdoroshin99@gmail.com

⁴filatova.nelli@gmail.com

⁵e-mailekaterina2504@ya.ru

⁶helgaopk69@yandex.ru

⁷AAdyumin@mephi.ru

⁸Igorklimanov@yandex.ru

Аннотация. Представлено развитие предыдущей системы автоматизации диагностики в онкогематологии, основанной на нейронных сетях глубокого обучения. В качестве основного улучшения реализована система передачи данных между специалистами и моделью, что обеспечивает эффективное взаимодействие и контроль качества. Количество классифицируемых типов клеток увеличено с 14 до 22, что позволяет проводить более детализированный морфологический анализ. Разработан и применен авторский способ обнаружения и классификации ядросодержащих клеток крови и костного мозга. Объем размеченного датасета значительно расширен (с 40 до 124 препаратов), что повысило репрезентативность и надежность модели. Экспериментальные исследования показали высокую точность модели (до 98 %) и согласованность результатов с экспертной оценкой (коэффициент Каппа от 71 до 97 %). Разработанная система способна не только автоматизировать

процесс анализа, но и минимизировать нагрузку на клинических специалистов, обеспечивая предварительную аннотацию и возможность корректировки.

Ключевые слова: глубокое обучение, нейронные сети, YOLO, биомедицинские изображения, компьютерная микроскопия, аннотация данных, автоматизация диагностики, онкогематология, коэффициент Каппа, патентованная методика

DIAGNOSTIC CONCLUSION FORMATION SYSTEM IN ONCOHEMATOLOGY BASED ON DEEP LEARNING NEURAL NETWORKS: CLASS EXPANSION, DATA SCALING AND METHODOLOGY INTEGRATION

**Evgeny V. Polyakov¹, Valentina V. Dmitrieva²,
Sergey Yu. Doroshin³, Nellie A. Filatova⁴,
Catherine V. Shuvalova⁵, Olga P. Kolbatskaya⁶,
Alexander A. Dyumin⁷, Igor A. Klimanov⁸**

^{1,2,5,7}National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

*^{4,6,8}N. N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology of the Ministry
of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia*

³LLC "Amdox Solutions LTD", Moscow, Russia

¹EVPolyakov@mephi.ru

²dmitrievq@yandex.ru

³sergejdoroshin99@gmail.com

⁴filatova.nelli@gmail.com

⁵e-mailekaterina2504@ya.ru

⁶helgaopk69@yandex.ru

⁷AAyumin@mephi.ru

⁸Igorklimanov@yandex.ru

Abstract. This paper presents the development of a previously created system for automating diagnosis in oncohematology based on deep learning neural networks. The key improvement is the implementation of a data transmission system between medical experts and the model, ensuring effective interaction and quality control. The number of classified cell types has been increased from 14 to 22, enabling a more detailed morphological analysis. An original method for detecting and classifying nucleated blood and bone marrow cells has been developed and applied. The annotated dataset has been significantly expanded-from 40 to 124 slides-enhancing the representativeness and reliability of the model. Experimental studies demonstrated high model accuracy (up to 98 %) and strong agreement with expert assessments (Kappa coefficient ranging from 71 to 97 %). The developed system is capable of not only automating the analysis process, but also minimizing

the workload on clinical specialists by providing preliminary annotation and the ability to make corrections.

Keywords: deep learning, neural networks, YOLO, biomedical images, computer microscopy, data annotation, diagnostics automation, oncohematology, Kappa coefficient, patented technique

Микроскопический анализ препаратов крови и костного мозга остаётся ключевым этапом в диагностике онкогематологических заболеваний, таких как лейкозы и лимфомы. Несмотря на стремительное развитие цифровой медицины, данный процесс по-прежнему выполняется в основном вручную опытными врачами-лаборантами. Это требует значительных временных затрат, подвержено человеческим ошибкам и может приводить к вариабельности результатов между различными специалистами. В условиях дефицита высококвалифицированных кадров и растущего объёма исследований автоматизация этого процесса становится приоритетной задачей.

Основные проблемы, препятствующие широкому внедрению автоматизированных систем, включают ограниченность и несбалансированность датасетов. Недостаточное количество размеченных образцов, особенно для редких клеточных типов (например, промиелоцитов, мегакариоцитов), снижает точность моделей. Отсутствие стандартизации и интеграции также является серьёзным барьером: системы часто работают в замкнутых средах, без возможности эффективного обмена данными между экспертом и моделью. Кроме того, многие существующие решения ограничиваются базовой классификацией нормальных и патологических клеток крови и костного мозга, основанной на типичных морфологических признаках. Они не учитывают, например, изменения структуры ядра и хроматина у нормальных лимфоцитов при выполнении ими своих функций, а также значительную вариабельность морфологии патологических клеток, например плазмоцитов при множественной миеломе. Дополнительную сложность представляет отсутствие открытых полноценных датасетов и стандартизированных протоколов обучения, что затрудняет воспроизводимость результатов, сравнение моделей и их дальнейшее развитие [1–3].

Для преодоления указанных проблем предлагается усовершенствованная система автоматизации диагностики, которая расширяет набор классифицируемых объектов до 22 типов, что

позволяет проводить более детализированный морфологический анализ. В основе системы лежит авторский способ, обеспечивающий оптимизированный подход к выявлению и классификации клеток. Реализована система передачи данных, позволяющая организовать эффективный поток работы «модель – эксперт – система». Также значительно увеличен объём и качество размеченного датасета, что повысило репрезентативность и надёжность модели.

Целью настоящей работы является разработка и экспериментальная проверка расширенной системы формирования диагностического заключения в онкогематологии, основанной на глубоком обучении, с целью повышения точности, детализации анализа и снижения нагрузки на клинических специалистов за счёт масштабирования данных и интеграции патентованной технологии.

Материалы и методы

В качестве основы для разработанной системы была выбрана архитектура одноэтапной нейронной сети YOLO, известная своей высокой скоростью обработки и эффективностью в задачах обнаружения и классификации объектов на изображениях. Обучение модели проводилось на сервере, оснащённом графическим ускорителем NVIDIA RTX 4060 с 16 ГБ видеопамяти. В ходе обучения использовались данные из датасета, содержащего изображения ядросодержащих клеток костного мозга, полученные с помощью автоматизированной системы МЕКОС-Ц2 и цифровой камеры Imrex IPX-4M15TGCFB (размер кадра 2048×2048 пикселей) [4].

Объём размеченного датасета увеличен: количество препаратов возросло с 40 до 124, что позволило повысить репрезентативность и стабильность модели. Аннотация всех изображений выполнялась опытными специалистами Национального медицинского исследовательского центра онкологии имени Н. Н. Блохина, что обеспечило высокую достоверность и клиническую значимость меток.

Количество классифицируемых типов клеток было расширено с 14 до 22, что позволило проводить более детализированный морфологический анализ. В состав классов вошли клетки трех рядов гранулоцитарного роста: молодые (промиелоциты, миелоциты и метамиелоциты) и зрелые (палочкоядерные и сегментоядерные формы), а также мононуклиарные лейкоциты (лимфо-

циты и моноциты). Кроме того, в классификацию добавлены вспомогательные элементы, такие как артефакты, тканевые базофилы, тени Гумпрехта, клетки, непригодные для анализа, и митозы для исключения их из последующего анализа.

Для реализации системы была разработана программная платформа на языке C++, использующая фреймворк Qt для создания кроссплатформенного графического интерфейса, библиотеку OpenCV для обработки изображений и ONNX Runtime для запуска моделей в формате ONNX. Система состоит из трёх основных модулей. Модуль разметки данных предназначен для загрузки изображений в форматах JPG, PNG, BMP, их визуального просмотра, а также создания, редактирования и сохранения аннотаций. Модуль анализа качества обучения позволяет визуально сравнивать результаты, полученные моделью и экспертом, вычислять метрики (Precision, Recall, mAP) и оценивать согласованность с помощью коэффициента Каппа. Модуль инференса обеспечивает запуск обученной модели в формате ONNX и генерацию предсказаний по новым изображениям.

Все этапы подготовки данных, аугментации и обучения модели были выполнены в соответствии с авторским способом [5]. Это позволило использовать оптимизированные подходы к выделению и классификации клеток, повышающие точность и надёжность результатов.

Реализована функциональность для эффективного взаимодействия между ИИ-моделью и клиническим экспертом. Врач может загружать изображения, получать предварительную разметку от модели, вносить корректировки и отправлять окончательные данные в систему хранения или для формирования диагностического заключения. Это создаёт замкнутый цикл «модель – эксперт – система», обеспечивающий контроль качества и доверие к результатам.

Для повышения обобщающей способности модели и компенсации несбалансированности датасета применялись различные методы аугментации. К ним относились изменение размера и масштаба изображений, корректировка яркости и контраста, применение размытия, отражение по вертикали, а также тайлирование – разбиение больших изображений на меньшие фрагменты (тайлы) для более равномерного распределения объектов. Эти преобразования позволили значительно увеличить объём данных и улучшить качество обучения.

Экспериментальные исследования

Обучение модели проводилось в течение 80 эпох. Исходный датасет был разделён на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 80 %, 10 % и 10 % соответственно. При этом для каждого класса обеспечивалась репрезентативность в каждой из выборок.

На валидационной выборке модель продемонстрировала высокие показатели качества. Точность (Вох(P)) и полнота (R) для большинства классов превышали 95 %. Например, для бластов эти метрики составили 98 % и 99 %, для миелоцитов – 95 % и 98 %, для лимфоцитов – 94 % и 93 %. Однако для редких клеточных типов, таких как макрофаги и мегакариоциты, показатели точности и полноты были существенно ниже. Это связано с низкой представленностью некоторых классов в исходном датасете – типичной проблемой при анализе медицинских изображений, которую можно частично решить за счёт дополнения датасета.

Для объективной оценки согласованности между моделью и клиническим экспертом было проведено исследование на тестовой выборке, состоящей из 10 препаратов, которые не использовались ни на этапе обучения, ни на этапе валидации. В качестве основного критерия качества был выбран коэффициент Каппа. Результаты анализа показали высокую степень согласованности: значения коэффициента Каппа варьировались в диапазоне от 71 % до 97 % со средним значением около 95 %. Такие показатели свидетельствуют о хорошем и почти идеальном согласии между предсказаниями модели и оценками эксперта.

Точность дифференцированного подсчёта гемопоэтических клеток, выполненного моделью и экспертом, составила 90 %. Этот результат подтверждает практическую применимость разработанной системы для предварительного анализа изображений, позволяя существенно снизить нагрузку на лаборанта и сократить время на рутинные операции.

Заключение

Работа посвящена развитию системы формирования диагностического заключения в онкогематологии на основе глубокого обучения нейронной сети. Основные улучшения включают расширение числа классифицируемых клеток с 14 до 22 и увеличение объёма размеченного датасета с 40 до 124 препаратов. В основе системы лежит

разработанный авторами подход к классификации и интерпретации морфологических данных. Реализована система передачи и визуализации результатов, обеспечивающая эффективное взаимодействие между моделью и экспертом. Экспериментальные исследования показали высокую согласованность выводов модели и специалиста: коэффициент Каппа составил 0.71–0.97, а точность дифференцированного подсчёта клеток достигла 90 %.

Дальнейшее развитие работы будет направлено на оптимизацию распознавания редких клеточных форм и интеграцию системы в единую информационную платформу медицинского учреждения.

Список литературы

1. Поляков Е. В., Дмитриева В. В., Шувалова Е. В. [и др.]. Исследование одноэтапной нейронной сети глубокого обучения для анализа биомедицинских изображений // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2025. Т. 371, № 3. С. 118–125.

2. Поляков Е. В., Дорошин С. Ю., Филатова Н. А. [и др.]. Программная система анализа результатов модели глубокого обучения на примере изображений ядросодержащих клеток с препаратов костного мозга // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2025. № 3 (71).

3. Дмитриева В. В., Тупицын Н. Н., Поляков Е. В. [и др.] Медицинская информационная система с применением web-технологий для диагностики острых лимфобластных лейкозов и минимальной остаточной болезни // *Безопасность информационных технологий*. 2021. Т. 28, № 3. С. 44–55. doi: 10.26583/bit.2021.3.03

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621283 Российская Федерация. База данных клеток костного мозга больных острым лимфобластным лейкозом : № 2023620945 ; заявл. 06.04.2023 ; опубл. 20.04.2023 / Е. В. Поляков, Н. Н. Тупицын, И. Н. Серебрякова [и др.] ; правообладатель Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

5. Патент 2837299 Российская Федерация. Способ обнаружения и классификации цветных изображений ядросодержащих клеток крови и костного мозга при формировании диагностического заключения в онкогематологии / Поляков Е. В., Дмитриева В. В., Шувалова Е. В., Сельчук В. Ю., Палладина А. Д., Филатова Н. А. ; заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». № 2024105518 ; заявл. 04.03.2024 ; опубл. 28.03.2025. Бюл. № 10.

ИНТЕГРАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Дмитрий Евгеньевич Радаев¹,
Ангелина Евгеньевна Ераскина²,
Михаил Александрович Терехин³,
Антон Владимирович Иващенко⁴**

*¹Пензенский государственный технологический университет,
г. Пенза, Россия*

*^{2,3,4}Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹khierobin@mail.ru

²a.e.eraskina@samsmu.ru

³terexin.m.a@yandex.ru

⁴anton.ivashenko@gmail.com

Аннотация. Представлен опыт решения задачи синхронизированного сбора данных о состоянии здоровья пациентов с помощью технологий инструментального контроля. Данные физиологических параметров пациентов и анализа крови использованы для обучения системы искусственного интеллекта в системе дистанционной фотоплетизмографии. Представленные архитектура и методика сбора показателей здоровья пациентов на базе мобильного комплекса предназначены для применения в системах телемедицины, при разработке и внедрении систем поддержки принятия врачебных решений.

Ключевые слова: телемедицина, медицинские информационные системы, датасет, искусственный интеллект

INTEGRATION OF MEDICAL DIAGNOSTIC TOOLS

**Dmitry E. Radaev¹, Angelina E. Eraskina²,
Michael A. Terekhin³, Anton V. Ivashchenko⁴**

¹Penza State Technological University, Penza, Russia

^{2,3,4}Samara State Medical University, Samara, Russia

¹khierobin@mail.ru

²a.e.eraskina@samsmu.ru

³terexin.m.a@yandex.ru

⁴anton.ivashenko@gmail.com

Abstract. The paper presents an example of solving the problem of synchronized patient health data collection using instrumental monitoring technologies. Patient physiological parameters and blood analysis data were used to train an Artificial Intelligence system in a remote photoplethysmography system. The presented architecture and methodology for collecting patient health data using a mobile device are intended for use in telemedicine systems and in the development and implementation of medical decision support systems.

Keywords: telemedicine, medical information systems, dataset, artificial intelligence

Развитие современной персонализированной медицины [1] связано с совершенствованием технологий инструментального контроля состояния здоровья пациентов. Постоянный мониторинг физиологических параметров и периодические лабораторные исследования могут быть реализованы средствами новых аппаратно-программных комплексов телемедицины и поддержки принятия врачебных решений [2]. Важную роль в повышении качества диагностики и лечения при этом играет широкое внедрение технологий искусственного интеллекта [3, 4], обеспечивающих возможности автоматизированной обработки больших объемов медицинской информации.

Для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта, представленных, прежде всего, методами машинного обучения и нейронными сетями, необходимо обеспечить инструментальный сбор данных о состоянии здоровья пациентов. Собранные данные используются для создания датасетов – наборов данных для обучения и тестирования интеллектуальных систем поддержки принятия врачебных решений.

Технология сбора медицинских датасетов отличается от подходов, используемых в медицинской диагностике и телемедицине, поскольку требует синхронизации процедуры диагностики группы пациентов в потоке по времени. Используемые при этом аппаратно-программные средства настраиваются на синхронизированный прием данных от нескольких инструментов медицинской диагностики в единой телекоммуникационной сети. Реализовать такую возможность помогает сервис-ориентированная архитектура приложений и облачные технологии.

В данной статье обобщен опыт сбора физиологических параметров пациентов и анализа крови для обучения системы искусственного интеллекта в системе дистанционной фотоплетизмогра-

фии. Для решения этой задачи разработан аппаратно-программный комплекс (рис. 1), основная техническая задача которого заключается в синхронизации сбора медицинской информации для формирования целостного и согласованного датасета.

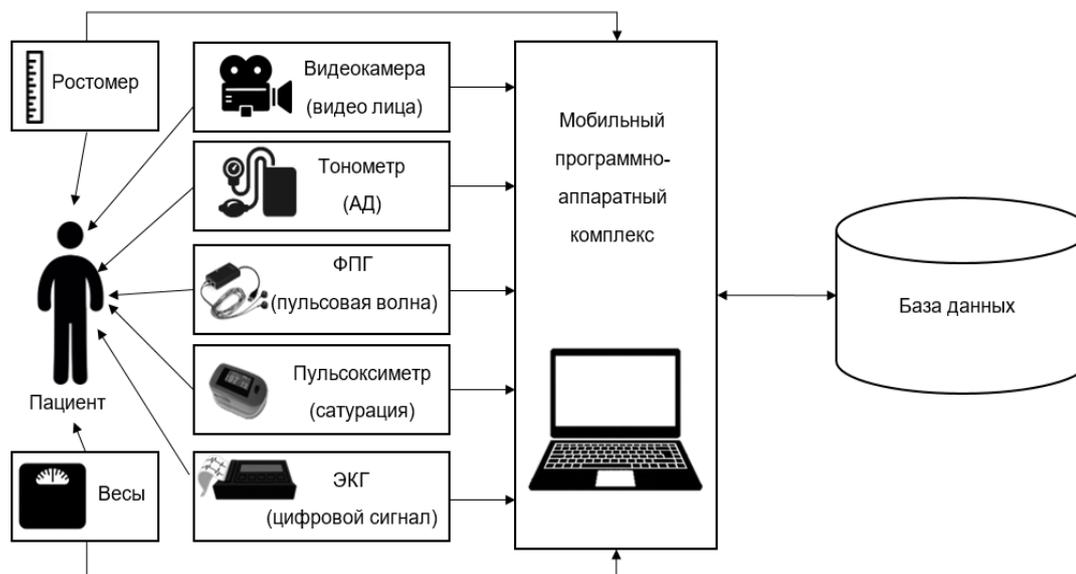


Рис. 1. Интегрированный инструментальный комплекс медицинской диагностики на базе мобильной платформы

С целью обеспечения надёжной фиксации результатов видеорегистрации и последующего формирования базы данных (датасета), в рамках проводимого исследования было разработано специализированное программное обеспечение. Оно включает два настольных (десктопных) программных модуля, реализованных на языке программирования Python.

В процессе создания использовались широко распространённые библиотеки: PyQt5 – для построения графического интерфейса пользователя, OpenCV-python – для обработки и анализа видеопотока, numpy – для численной обработки массивов данных, pygrabber – для реализации захвата изображения с видеокамер, а также стандартные библиотеки языка Python: os, time, json, sys, random и др.

Разработанная процедура сбора данных приведена на рис. 2. Поскольку данные собирались для обучения нейросетевой системы компьютерного зрения, важно было обеспечить синхронизированную видеозапись.

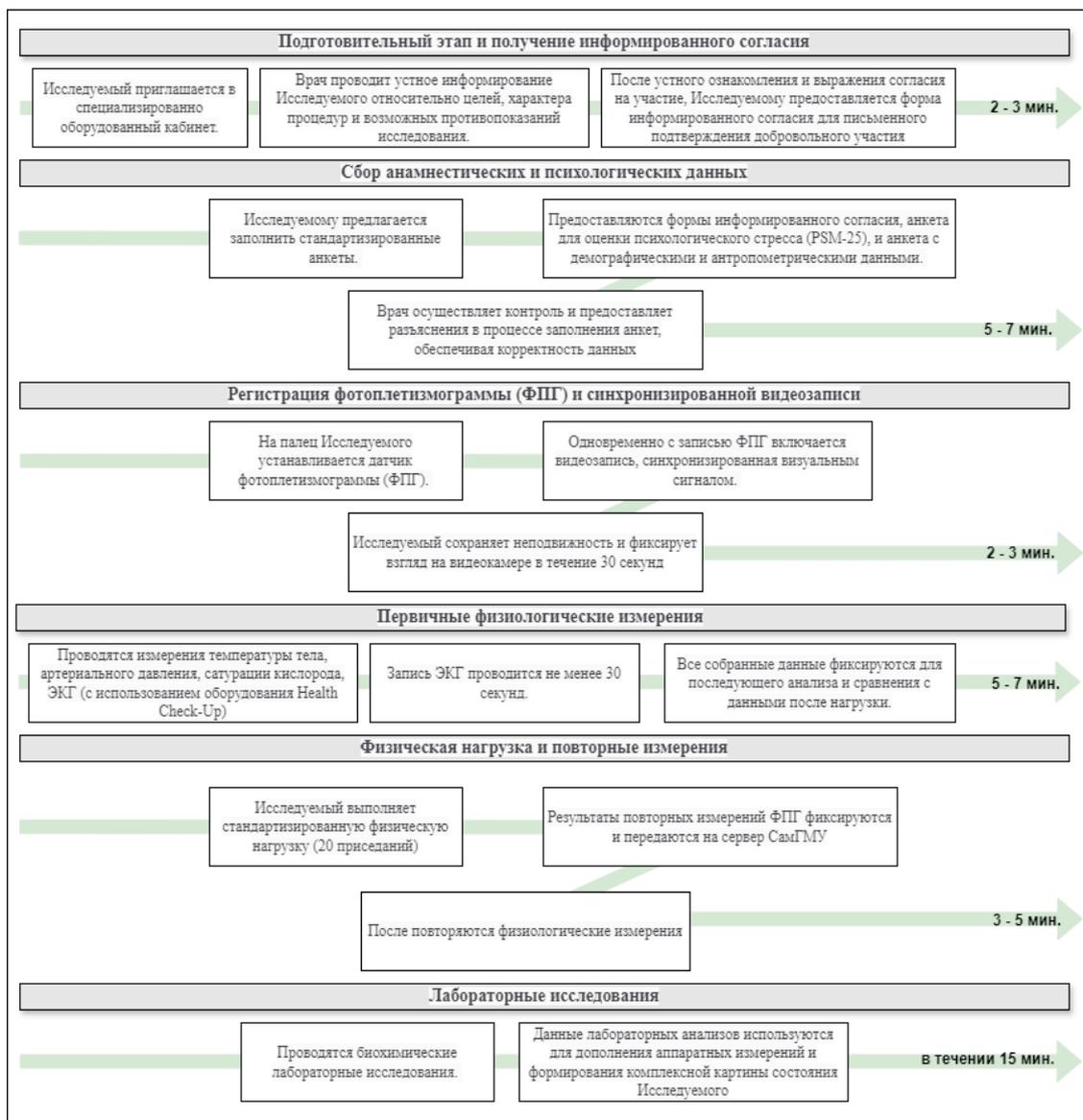


Рис. 2. Методика сбора показателей здоровья пациента на базе мобильного комплекса

Таким образом, основная задача при подготовке датасета состояла в оптимизации времени, затрачиваемого на обследование одного пациента и синхронизации результатов измерений, получаемых различными средствами инструментальной диагностики. Интеграция данных производилась на уровне хранилища данных, для сбора данных преимущественно использовались цифровые приборы, но некоторые данные (анкета, согласие), заполнялись вручную.

Видео и PPG-сигналы синхронизируются визуально (по световому маркеру) и хранятся в структурированном виде с метками

времени. Для анализа применяются алгоритмы извлечения пульсовой волны (например, GREEN, ICA, CHROM, SSR, POS и др.), оценка ЧСС, а также расчёт стандартных метрик: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (RMSE), коэффициент корреляции Пирсона и отношение сигнал/шум (SNR).

Разработанные программные средства обеспечивают параллельную запись видеопотоков с нескольких источников, синхронизацию получаемых изображений, структурирование датасета, сопоставление физиологических параметров с видеоданными и сохранение всей информации в единой базе данных. Такая архитектура платформы позволяет реализовать сквозную цифровую трассировку данных: от момента регистрации испытуемого до последующего анализа.

В перспективе развития платформы планируется существенное расширение и обогащение используемой базы данных. Предусматривается интеграция сторонних общедоступных датасетов, включая UBFC-RPPG, SONFACE и PURE. Особое внимание уделяется формированию собственной целевой базы данных, содержащей аннотированные видеоизображения лиц пациентов с верифицированными диагнозами сахарного диабета и атеросклероза, что позволит проводить специализированный анализ и повысить клиническую значимость получаемых результатов.

Список литературы

1. Дедов И. И., Тюльпаков А. Н., Чехонин И. П. [и др.]. Персонализированная медицина: современное состояние и перспективы // Вестник Российской академии медицинских наук. 2012. № 12. С. 4–12.
2. Колсанов А. В., Гаранин А. А. Опыт организации центра телемедицины в университетских клиниках // Врач и информационные технологии. 2024. № 3. С. 25–33.
3. Алексеева М. Г., Зубов А. И., Новиков М. Ю. Искусственный интеллект в медицине // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7-2 (121).
4. Купатенко Я. Г., Мирук А. К., Ломоносова А. В. [и др.]. Искусственный интеллект в медицине: обзор текущей ситуации и тенденции // Cifra. Медико-биологические науки. 2024. № 2 (2). doi: 10.60797/BMED.2024.2.4

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И НОРМАЛИЗАЦИИ СИГНАЛОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Алиса Викторовна Адамова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

alicegarth@gmail.com

Аннотация. Рассмотрено вычисление статистических параметров для сигналов электроэнцефалограммы разной длительности для двух выборок. Выполнены три варианта сравнения сигналов: с различной длительностью и нормализацией, с одинаковой длительностью и с одинаковой длительностью с нормализацией.

Ключевые слова: электроэнцефалограммы, статистический анализ, гистограммы распределения параметров

INFLUENCE OF DURATION AND NORMALIZATION OF SIGNAL ON THE RESULTS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF STATISTICAL PARAMETERS OF ELECTROENCEPHALOGRAMS

Alisa V. Adamova

Penza State University, Penza, Russia

alicegarth@gmail.com

Abstract. The calculation of statistical parameters for ECG signals of different durations for two samples is considered. Three signal comparison options are performed: signals of different durations and normalization, signals of the same duration, and signals of the same duration and normalization.

Keywords: electroencephalograms, statistical analysis, histograms of parameter distribution

При проведении исследований на открытых базах данных ЭКГ сигналов зачастую приходится иметь дело с наборами данных с различной частотой дискретизации и длительностью. В данной работе рассматриваются сигналы ЭКГ для распознавания стресса, снятые со здоровых добровольцев-водителей, когда они ехали по

заранее определённом маршруту [1]. Длина этих записей варьируется от 65 до 93 минут. Вторым рассматриваемым набором данных содержат длительные записи (более 23 часов) ЭКГ пациентов больницы, у которых не было выявлено существенных нарушений ритма сердца [1]. В проведенном исследовании определено влияние длительности и нормализации сигналов на статистические параметры при сравнении стрессовых и контрольных выборок [2].

Для получения статистических параметров variability сердечного ритма выбран метод с заменой кардиоинтервалов на относительные приращения [3, 4] и сравнение проведено на основе следующих параметров:

K_n – интегральный показатель отрицательного ряда значений;

K_p – интегральный показатель положительного ряда значений;

B – вегетативный баланс, рассчитанный как отношение K_n к K_p .

Методика построения гистограмм распределения описана в [5]. В качестве меры оценки различия гистограмм выбрана площадь несовпадения, успешно использованная при анализе проекций трехмерных объектов [6].

Исследование проведено на 3 вариантах сигналов ЭКГ: сигналы, сильно отличаются по длине (стрессовые обрезались до получаса, а контрольные приводились к длине около 17 часов, но итоговые значения были нормализованы), сигналы одной длины без нормализации и сигналы одной длины нормализованные. На рис. 1 представлены гистограммы показателя K_p (стрессовые сигналы закрашены фиолетовым цветом, контрольные – зелёным).

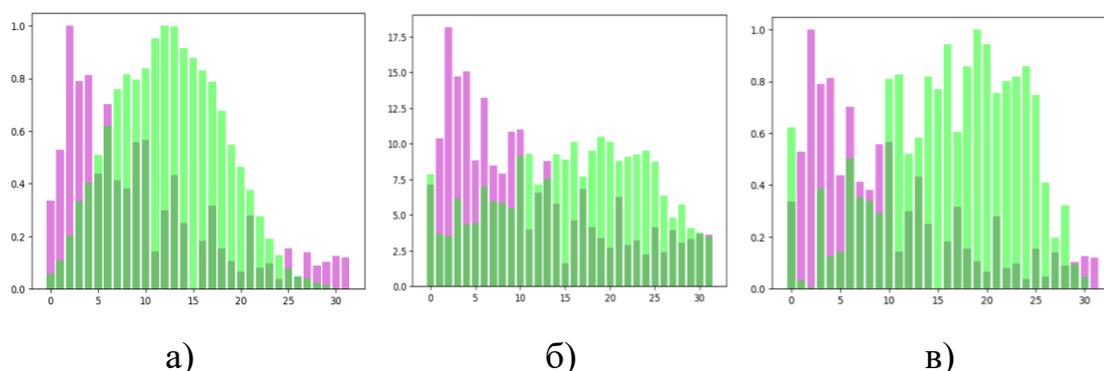


Рис. 1. Гистограммы показателя K_p : а – сравнение короткого стрессового сигнала с длинным нормализованным сигналом контрольной группы; б – все сигналы одной длины; в – все сигналы одной длины нормализованные

После этого выполнено построение графиков площади несовпадения [6]. Для этого на каждом интервале из значения амплитуды здорового сигнала вычиталось значение амплитуды стрессового с соблюдением знака. На рис. 2 показаны графики площади несовпадения показателя K_p , где минусовые значения означают, что на данном интервале преобладают значения стрессовых сигналов, а положительные – контрольные. Цвета сигналов соответствуют сигналам на рис. 1.

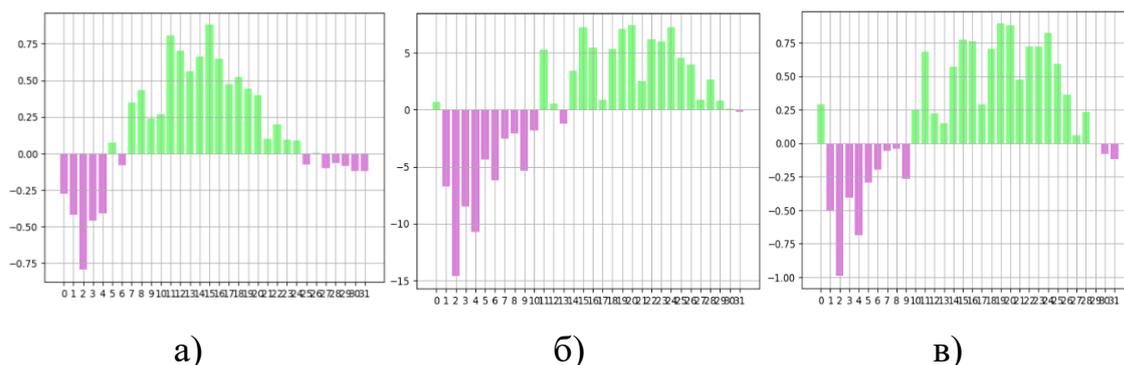


Рис. 2. Площадь несовпадения показателя K_p : а – сравнение короткого стрессового сигнала с длинным сигналом контрольной группы после нормализации; б – все сигналы одной длины; в – все сигналы одной длины после нормализации

По полученным значениям были рассчитаны площадь несовпадения (S -out), площадь совпадения (S -in) и общая площадь (S -full) каждого выбранного показателя [5]. Аналогично были вычислены результаты и для остальных параметров. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчёта отношения площадей

	Сигналы разной длины с нормализацией	Сигналы одной длины	Сигналы одной длины с нормализацией
K_p			
S -out/ S -in	1.627	0.962	2.313
S -out/ S -full	0.619	0.49	0.698
K_n			
S -out/ S -in	0.976	1.224	1.095
S -out/ S -full	0.493	0.55	0.523
B			
S -out/ S -in	0.894	1.138	1.547
S -out/ S -full	0.472	0.532	0.607

Из таблицы видно, что предпочтительным является способ оценки сигналов ЭКГ одинаковой длины с нормализацией. Данный тип сигналов показал наилучшие значения отношения площадей для интегрального показателя положительного ряда значений и показателя вегетативного баланса при сравнении наборов данных.

Список литературы

1. Goldberger A., Amaral L., Glass L. [et al.]. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals // *Circulation*. 2000. № 101 (23). P. e215–e220. RRID: SCR_007345

2. Gasanova V. A., Pushkareva A. V., Kuzmin A. V., Baranov V. A. Stress Assessment Using Phase Space Trajectory Analysis of ECG Signals in Patients with Hypersensitivity // 2025 27th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA). Moscow, 2025. P. 1–4. doi: 10.1109/DSPA64310.2025.10977863

3. Fedorov V. F. Time series analysis in self-regulating systems // *Journal of Radio Electronics*. 2019. № 5. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may19/9/text.pdf> doi: 10.30898/1684-1719.2019.5.9

4. 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 : № 2024667706 : заявл. 30.07.2024 : опубл. 16.08.2024 / А. В. Кузьмин, А. В. Адамова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет». EDN: UTNSXN

5. Адамова А. В., Буданов К. М., Кузьмин А. В. Анализ статистических показателей variability сердечного ритма и вариативности сигналов ЭКГ в норме и с признаками аритмии // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2025. № 3. С. 154–165.

6. Patent 2372844 Russian Federation A61B 6/00, A61B 5/107. Method for automatic determination of the size and position of the patient's heart using fluorographic images / Bodin O. N., Kuz'min A. V., Seminkin M. A., Moiseev A. E. Claimed 16.06.2008 : published 20.11.2009.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

УДК 620.91

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ СЕТЕВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Аганияз Ягшиевич Джумаев¹, Равиль Афтахович Халиулин²

*^{1,2}Государственный энергетический институт Туркменистана,
г. Мары, Туркменистан*

¹a.jumayev.tm@gmail.com

²ylymtdei@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены проектирование и внедрение управляющих систем сетевой фотоэлектрической солнечной станции на основе фотоэлектрических модулей с общей мощностью 132 кВт. Представлены методы расчета станций такого типа и способ их окупаемости. Определен объем выработки электрической энергии станцией в течение года.

Ключевые слова: проектирование управляющих систем, фотоэлектрическая солнечная станция, мощность, выработка электрической энергии

DESIGN OF CONTROL SYSTEMS FOR GRID-BASED SOLAR ENERGY IN TURKMENISTAN

Aganiyaz Ya. Jumayev¹, Ravil A. Haliulin²

^{1,2}State Energy Institute of Turkmenistan, Mary, Turkmenistan

¹a.jumayev.tm@gmail.com

²ylymtdei@gmail.com

Abstract. The design and implementation of control systems of a network photovoltaic solar station based on photovoltaic modules with a total capacity of 132 kW are considered. The methods of calculating stations of this type and the method of their payback are presented. The amount of electric energy generated by the plant during the year has been determined.

Keywords: design of control systems, photovoltaic solar station, power, generation of electric energy

Одной из основных задач отрасли электроэнергетики является проектирование, создание и внедрение управляющих систем энергоснабжения. В Государственном энергетическом институте Туркменистана проводятся научно-исследовательские работы по проектированию и созданию управляющих систем энергоснабжения. Внедрение управляющих систем энергоснабжения можно разделить на следующие этапы:

- управление энергоснабжением: назначение энергетического менеджера, создание команды и определение четкого распределения обязанностей;

- определение цели: исходя из международных стандартов (ISO 50001) определить конкретные цели экономии электрической энергии и сокращения выбросов CO₂;

- проведение оптимизации: выбор и корректировка графиков работы систем освещения, лабораторного и научно-исследовательского оборудования, сезонного управления системами отопления, кондиционирования и вентиляции;

- постоянное техническое обслуживание: проведение регулярного и профилактического технического обслуживания;

- подготовка кадров: открытие новых специальностей, обучение обслуживающего персонала, привлечение студентов к исследованиям, а также проведение информационно-просветительских мероприятий;

- достижение усовершенствования: проведение периодических энергетических аудитов, внедрение в эксплуатацию новых объектов с учетом новых требований, интеграция в систему возобновляемых источников энергии.

Схема установки и состав оборудования. Основным этапом создания фотоэлектрической энергетической системы является оптимизация ее состава и структуры. Для обеспечения максимальной выработки электрической энергии в данном случае использованы сетевые инверторы Growatt PV Grid Inverter (MAC 60KTL3-XLV) и фотоэлектрические модули с мощностью 550 Вт (CHSM72M(DG)/F-BH-550). Расположение фотоэлектрических модулей выполнено с наклоном к горизонту на 36°, что обосновано расчетами выработки электрической энергии фотоэлектрической солнечной станцией (ФСС) для различных углов наклона модулей к горизонту при южной ориентации. При этом специальные

устройства слежения за солнцем (трекеры) не применялись по экономическим причинам и из-за повышенных массогабаритных характеристик модулей (ФСС расположена на крыше нового здания института, рис. 1). Трекеры обычно применяются совместно с компактными дорогостоящими фотоэлектрическими модулями с высоким КПД и системами концентрации солнечного излучения, что существенно уменьшает долю стоимости трекера в общей стоимости установки при заметном повышении выработки электроэнергии [1]. Кроме этого, электромеханические поворотные устройства трекера снижают надежность работы ФСС в целом.



Рис. 1. Расположение сетевой ФСС на крыше нового здания института

Функциональная схема сетевой ФСС представлена на рис. 2. Для комплектации ФСС выбраны сетевые инверторы Growatt PV Grid Inverter (MAC 60KTL3-XLV) и солнечные модули CHSM72M(DG)/F-BH-550, технические параметры которых приведены в табл. 1–2.

Таблица 1

Технические параметры сетевого инвертора

1	Model name	MAC 60KTL3-XLV
2	Max.PV voltage	1100 d.c. V
3	PV voltage range	200–1000 d.c. V
4	PV I _{SC}	55 d.c. A*3
5	Max. Input current	50 d.c. A*3
6	Max. output power	60000 W
7	Max. apparent power	66600 VA
8	Nominal output voltage	3W/N/PE 230/400 a.c. V
9	Nominal output Frequency	50/60 Hz

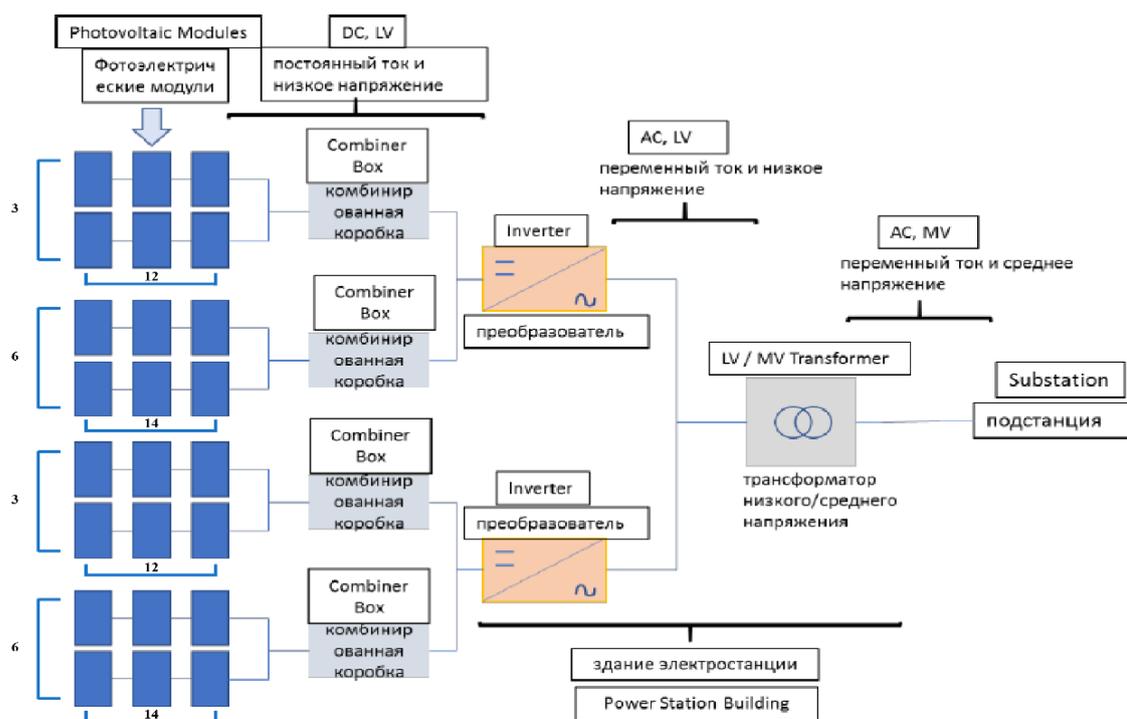


Рис. 2. Блок-схема сетевой ФЭС с мощностью 132 кВт

Таблица 2

Технические параметры солнечного модуля

1	Модель	SPR-415-WHT-D
2	U_{XX}	50,3 В
3	I_{K3}	13,84 А
4	U_{MM}	42,27 В
5	I_{MM}	13,01 А
6	Максимальная мощность при STC $P_{MM} = I_{MM} U_{MM}$	550 Вт
7	Допустимое отклонение мощности (%)	± 5 %
8	K_H	$-0,30$ %/ $^{\circ}C$
9	K_T	$0,043$ %/ $^{\circ}C$
10	КПД	21,7 %
11	NOCT (Nominal Operation Cell Temperature)	41,0 $^{\circ}C$
12	Площадь модуля	2,583 м ²

Фотоэлектрическая энергетическая система состоит из двух сетевых ФЭС с мощностью 66 кВт каждая, расположенных на различных крышах. Технические характеристики фотоэлектрической энергетической системы с мощностью 132 кВт приведены в табл. 3.

Технические характеристики фотоэлектрической энергетической системы

1	Мощность сетевого ФСС	132 кВт
2	Количество отдельных сетевых ФСС	2
3	Мощность отдельной сетевой ФСС	66 кВт
4	Мощность фотоэлектрического модуля	550 Вт
5	Количество фотоэлектрических модулей	240
6	Количество фотоэлектрических модулей соединенных последовательно в ряде	12 и 14
7	Количество рядов	9 в отд. сет. ФСС Всего 18 рядов
8	Площадь фотоэлектрических модулей	619,88 м ²
9	Количество инверторов	2
10	Выработка электрической энергии за год	186,128 МВт·ч

Результаты и обсуждение

В сетевой ФСС использованы солнечные панели мощностью 550 Вт с техническими параметрами из табл. 2, а для преобразования электрической энергии инверторы с мощностью 60 кВт (табл. 1). Расчет объема электрической энергии, вырабатываемой ФСС в течение года, выполнен в соответствии с методикой [2].

Оценка капитальных затрат производилась на основе схемы (рис. 1) с учетом стоимости всех компонентов ФСС. По результатам ранее выполненных оценок проектов [3] затраты на строительные-монтажные работы оценивались в 30 % от суммарной стоимости комплектующих, а затраты на непредвиденные расходы – 5 % от той же суммы.

Запуск ФСС в опытную эксплуатацию состоялся в конце августа 2025 г. С этого момента проводится мониторинг работы ФСС.

Ключевым элементом для управления описанной фотоэлектрической системой является специализированная компьютерная система мониторинга. Данная система в реальном времени отслеживает рабочие параметры всех компонентов ФСС, включая выработку солнечных панелей и режимы работы инверторов. С момента запуска в опытную эксплуатацию в августе 2025 года эта система обеспечивает сбор и анализ данных о производительности установки. С ее помощью проводится сравнение фактических

результатов с сезонными прогнозами и проектными расчетами, выполненными на этапе проектирования. Таким образом, компьютерная система управления служит инструментом для верификации эффективности ФСС и является основой для проведения научно-исследовательских работ института. Получаемые данные позволяют оптимизировать работу системы и накапливать ценный опыт для создания энергетических комплексов мирового уровня.

Заключение

Создание фотоэлектрической энергетической системы на основе сетевых ФСС является важным этапом реализации научно-исследовательских работ Государственного энергетического института Туркменистана и Научно-производственного центра «ВИЭ» по созданию энергетических систем на уровне мировых достижений. В ходе проектирования новой энергетической системы выполнен расчет выработки электрической энергии с помощью ФСС, а на экспериментальных исследованиях проведено сравнение с сезонными данными в течение года.

Список литературы

1. Шеняков Ю. А., Шурыгин Ю. А., Аржанов В. В. [и др.]. Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320, № 4. С. 133–138.
2. Джумаев А. Я., Какабаев А. С. Техничко-экономический анализ солнечно-водородной системы для энергоснабжения удаленных населенных пунктов // Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Брест, 2024. Т. 2. Ч. 1. С. 173–181.
3. Тасенко А. Б., Киселева С. В., Попель О. С., Титов В. Ф. О выборе оптимального состава гибридной энергетической установки для изолированного поселка // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 2 (106). С. 177–182.

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ

Оксана Игоревна Захарова

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций
и информатики, г. Самара, Россия*

o.zaharova@psuti.ru

Аннотация. Предложен эволюционный подход к оптимизации модульной системы обработки текстовых данных, обеспечивающий одновременное повышение точности, производительности и семантической релевантности. Разработан модифицированный генетический алгоритм с учетом семантического контекста при скрещивании и мутации, а также формализована многокритериальная задача выбора и настройки модулей. Эксперименты показали рост точности классификации на 12–15 % и сокращение времени обработки на 23–27 %.

Ключевые слова: обработка текстов, генетический алгоритм, машинное обучение, интеллектуальная система, компонентная архитектура, семантический анализ

EVOLUTIONARY APPROACH TO THE IMPLEMENTATION OF AN INTELLIGENT MODULAR SYSTEM FOR TEXT DATA PROCESSING

Oksana I. Zakharova

*Volga State University of Telecommunications and Informatics,
Samara, Russia*

o.zaharova@psuti.ru

Abstract. An evolutionary approach to optimizing a modular text data processing system is proposed, providing simultaneous improvement in accuracy, performance, and semantic relevance. A modified genetic algorithm has been developed, taking into account the semantic context of crossing and mutation, and the multi-criteria task of selecting and configuring modules has been formalized. The experiments showed an increase in classification accuracy by 12–15 % and a reduction in processing time by 23–27 %.

Keywords: text processing, genetic algorithm, machine learning, intelligent system, component architecture, semantic analysis

Современные информационные системы функционируют в условиях постоянного роста объёмов текстовых данных, включающих научные статьи, отчёты, нормативные документы, медицинские протоколы и контент социальных сетей. Обеспечение эффективной обработки этих данных [1] требует не только совершенствования алгоритмов, но и разработки целостных технологических решений, способных решать типовые задачи в автоматизированном режиме.

Существующие исследования в данной области можно классифицировать по нескольким основным направлениям:

1. Методы оптимизации отдельных компонентов обработки текста (векторизация, классификация, кластеризация).

2. Подходы к построению модульных архитектур текстовых процессоров.

3. Эволюционные алгоритмы для решения задач многокритериальной оптимизации.

4. Методы учета семантического контекста при обработке текстовых данных [2].

5. Технологии интеграции компонентов в единые программные платформы.

Принципиально важным научным результатом данного исследования является опровержение распространённого мнения о несовместимости требований высокой производительности и качественного семантического анализа. Разработанный в рамках данного исследования эволюционный подход доказывает, что правильно настроенная система способна одновременно улучшать оба показателя.

Научная новизна исследования заключается в разработке принципиально нового подхода к оптимизации текстовых процессоров, основанного на синтезе эволюционных алгоритмов и методов семантического анализа. В отличие от существующих решений, предложенный подход обеспечивает одновременную оптимизацию по множеству критериев качества при сохранении высокой адаптивности к различным типам текстовых данных.

Целью исследования является разработка универсального метода оптимизации конфигурации текстовых процессоров на основе эволюционного подхода (рис. 1). В частности, предлагается комплексный подход, учитывающий взаимное влияние различных модулей системы и согласованность их параметров.

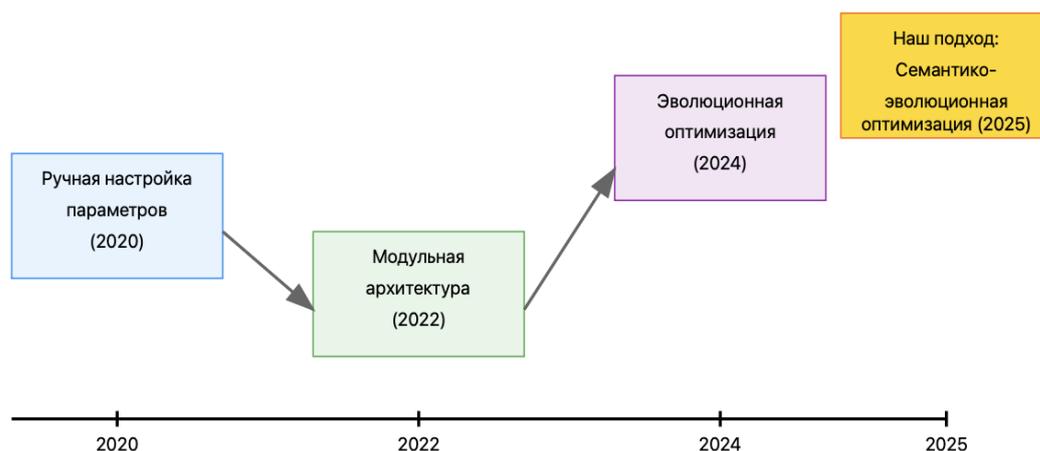


Рис. 1. Эволюция подходов к оптимизации текстовых процессоров

Формализация постановки задачи многокритериальной оптимизации

При формализации задачи оптимизации конфигурации текстовых процессоров данное исследование существенно расширяет подход, предложенный И. В. Смирновым [3]. Если Смирнов рассматривает только бинарные показатели совместимости компонентов, то предложенная модель учитывает непрерывный спектр характеристик взаимодействия модулей.

Рассмотрим формальную постановку задачи. Пусть задано множество программных модулей $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, каждый из которых характеризуется вектором параметров $p_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik})$. Конфигурация системы определяется подмножеством выбранных модулей $C \subseteq M$ и значениями их параметров.

В отличие от традиционного подхода, описанного в работах А. П. Котова [4], вводятся дополнительные критерии оптимизации, учитывающие семантический контекст обработки текста. Это позволяет преодолеть ограничения существующих методов, которые часто приводят к потере смысловых связей при оптимизации производительности.

Целевая функция оптимизации формулируется как:

$$F(C) = w_1F_1(C) + w_2F_2(C) + w_3F_3(C) \rightarrow \max.$$

где: $F_1(C)$ – критерий точности обработки тестовой информации, $F_2(C)$ – критерий производительности, $F_3(C)$ – критерий семантической релевантности.

Предлагаемый метод предусматривает адаптивную настройку весов w_1 , w_2 , w_3 в зависимости от специфики решаемой задачи и характеристик обрабатываемых текстов.

Принципиально важным является введение дополнительного семантического критерия $F_3(C)$, который оценивает качество сохранения смысловых связей при обработке текста. Это существенно отличает предлагаемый подход от существующих решений, где семантический аспект часто игнорируется или учитывается лишь косвенно.

Генетический алгоритм

Предложенный модифицированный генетический алгоритм существенно расширяет традиционные подходы к эволюционной оптимизации, представленный на рис. 2.



Примечание:
Пунктирная линия показывает итеративный процесс улучшения решений

Рис. 2. Структура модифицированного генетического алгоритма

Разработанный алгоритм включает следующие ключевые инновации:

1. Внедрен механизм семантически-ориентированного скрещивания, учитывающий не только формальные параметры компонентов, но и их влияние на сохранение смысловых связей в тексте. Это принципиально отличается от подхода Смирнова И. В. [3], который ограничивается простым обменом генетическим материалом между особями.

2. Реализован адаптивный механизм мутации, где вероятность и амплитуда изменений зависят от «семантической устойчивости»

ности» соответствующих параметров. Здесь развиваются идеи С. Д. Кузнецова [5], существенно дополняя их учетом семантического контекста.

Разработанная архитектура (рис. 3) основана на принципе динамической реконфигурации компонентов.

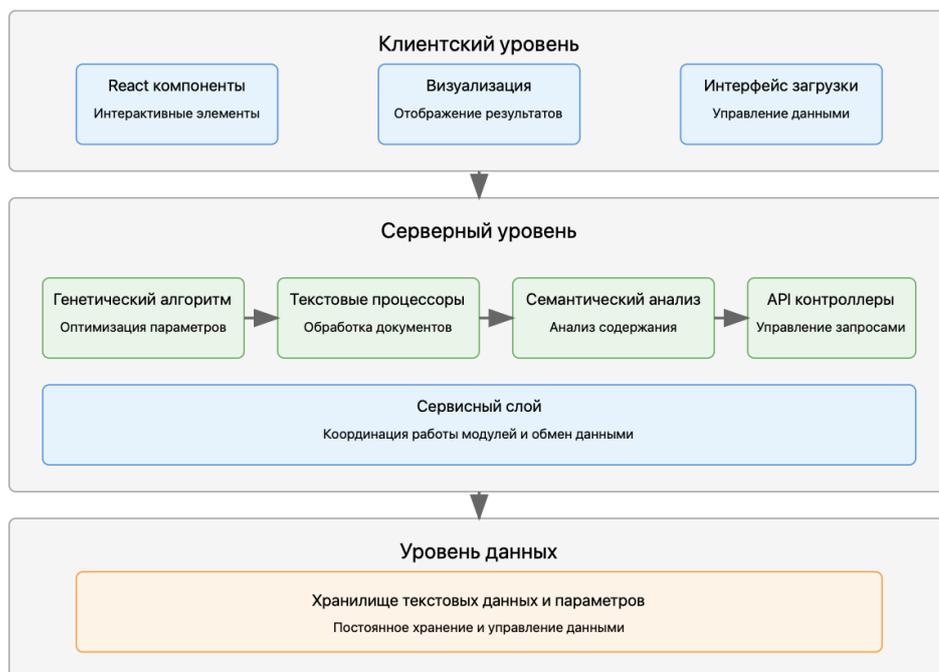


Рис. 3. Архитектура системы обработки текста

В основе серверной части платформы лежит оригинальная реализация асинхронного обработчика текстовых данных.

Особое внимание в реализации интеллектуальной системы уделено механизмам обеспечения семантической целостности при параллельной обработке текста.

На клиентской стороне реализован интерактивный интерфейс, позволяющий не только управлять процессом обработки текста, но и наблюдать за эволюцией параметров системы в реальном времени.

В рамках экспериментального исследования была проведена серия комплексных тестов, существенно расширяющих методологию оценки эффективности текстовых процессоров. Для проведения экспериментов был сформирован представительный набор текстов, включающий материалы различных жанров и стилей, в том числе научные статьи, техническую документацию и худо-

жественную литературу, что позволило более полно оценить адаптивные возможности системы.

Первая серия экспериментов была направлена на исследование эффективности предложенного генетического алгоритма при оптимизации параметров текстовых процессоров. Результаты показали значительное преимущество нашего подхода по сравнению с традиционными методами настройки. В частности, точность классификации текстов повысилась на 12–15 %, а время обработки сократилось на 23–27 %.

Вторая серия экспериментов была посвящена исследованию масштабируемости системы. Проведенные эксперименты показали, что предложенный подход обеспечивает практически линейное масштабирование производительности при увеличении объема обрабатываемых данных до определенного порога, после чего наблюдается незначительное снижение эффективности.

Список литературы

1. Захарова О. И. Разработка модели семантического анализа и синтеза текстовых данных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2024. № 4. С. 49–57.

2. Захарова О. И. Семантический анализ и синтез текстовых данных // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 4. С. 182–208.

3. Смирнов И. В. Оптимизация компонентной базы систем обработки текстов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2023. № 3. С. 89–102. doi: 10.14357/20718594230308 eLibrary ID: 49345678.

4. Котов А. П. Эволюционные алгоритмы в задачах оптимизации текстовых процессоров // Программная инженерия. 2023. № 4. С. 45–58. doi: 10.15514/CODE-2023-0406 eLibrary ID: 49876543.

5. Кузнецов С. Д. Модульная архитектура систем обработки естественного языка // Системы и средства информатики. 2024. № 1. С. 12–25. doi: 10.28995/2079-8156-2024-1 eLibrary ID: 50123456.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДРЕСНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Александр Михайлович Смолев¹,
Олег Константинович Головнин²

^{1,2}*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, г. Самара, Россия*

²*Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹volga04j@gmail.com

²golovnin@bk.ru

Аннотация. Предложен и обоснован алгоритм проектирования геоинформационных моделей, применяющихся для решения пространственных задач в различных отраслях. Алгоритм обеспечивает использование адресной информации для поддержки принятия пространственных решений. Представлена схема алгоритма, описывающая взаимодействие геоинформационной модели и системы управления адресным планом. На основе предложенного алгоритма разработана адресно-информационная система. Проведены эксперименты, подтверждающие эффективность предложенных решений.

Ключевые слова: геоинформационная модель, поддержка принятия решений, адресный план, проектирование, паттерн, геоинформационная система, система поддержки принятия решений

ALGORITHM FOR CONSTRUCTING GEOINFORMATION MODELS FOR USING ADDRESS INFORMATION IN SOLVING SPATIAL PROBLEMS

Alexander M. Smolev¹, Oleg K. Golovnin²

^{1,2}*Samara National Research University, Samara, Russia*

²*Samara State Medical University, Samara, Russia*

¹volga04j@gmail.com

²golovnin@bk.ru

Abstract. An algorithm for designing geoinformation models used to solve spatial problems in various industries is proposed and validated. The algorithm

enables the use of address information to support spatial decision-making. A schematic of the algorithm is presented, describing the interaction between the geoinformation model and the address plan management system. An address information system was developed based on the proposed algorithm. Experiments were conducted to confirm the effectiveness of the proposed solutions.

Keywords: geographic information model, decision-making support, address plan, design, pattern, geoinformation system, decision support system

Существует значительное количество задач, эффективное решение которых требует совместного применения данных геоинформационных систем и адресных сведений. Среди таких задач – определение пространственного размещения объектов с учетом существующей транспортной сети и иных элементов городского хозяйства [1], а также моделирование транспортных потоков на основании демографических данных, характеристик зон концентрации населения и анализа миграций пассажиров [2]. С использованием комбинированных адресно-геоинформационных моделей решаются вопросы оптимизации распределения инфраструктурных ресурсов [3].

Адресную информацию, используемую при принятии пространственных решений, структурируют в виде адресного плана [4]. Свойства адресного объекта, хранимого в адресном плане для поддержки принятия пространственных решений, подразделяются на три вида: идентифицирующие, геолокационные и описательные. Цель идентифицирующих свойств состоит в различении адресных объектов между собой. Геолокационные свойства нужны для задания формы и местоположения объекта, а описательные – для хранения характеристик, используемых сразу множеством геоинформационных моделей и предотвращения дублирования ими данных.

В настоящей работе предлагается алгоритм взаимодействия специальных геоинформационных моделей для эффективного использования информации, содержащейся в адресном плане.

По ходу решения модельных задач требуется использовать свойства адресных объектов различных типов. Входными данными выступают только геолокационные и некоторые описательные свойства; в выводе же, когда нужно указывать результаты по каждому объекту, используются идентифицирующие свойства. Исходя из этой особенности, составлена схема взаимодействия

геоинформационной модели с моделью адресного плана: запрос по геолокационным свойствам – загрузка числовых описательных свойств и проведение вычислений – идентификация результирующих данных по текстовым свойствам. Диаграмма последовательности, отражающая данное взаимодействие, приведена на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм взаимодействия геоинформационной модели и системы управления адресным планом (СУАП)

Для подтверждения эффективности предложенного алгоритма построена типовая модель транспортного спроса, обеспечивающая решение задачи расширения дорожной инфраструктуры для аккомодации поездок в пределах рассматриваемой территории. Чтобы повысить точность моделирования, в данную модель включаются социально-демографические и транспортно-политические параметры, которые содержатся в адресном плане территории. К социально-демографическим относятся количественные характеристики зданий, такие как число жителей, количество рабочих мест, единиц и др. Они используются на первом этапе моделирования – генерации поездок. Транспортно-политические параметры участвуют в расчете вероятности совершения поездки из точки А в точку Б с учетом расстояния между объектами и особенностями юрисдикции и формируют матрицу полезности при втором этапе моделирования – распределении поездок по конечным точкам и видам транспорта. Результатом моделирования является

матрица корреспонденций, присваивающая имеющимся автодорогам значения потенциального транспортного потока и на основе которой принимается решение об участках, где требуется повысить пропускную способность индивидуального и общественного транспорта.

Выполнено проектирование адресно-информационной системы. В ее основе – абстрактная структура данных *IRoadable*, задающая пространственную привязку объекта посредством адреса близлежащей улицы. Эта структура позволяет, во-первых, упростить поиск интересующих объектов в геоинформационной среде с помощью вручную задаваемых фильтров, а во-вторых, автоматизировать учет объектов муниципальной инфраструктуры. Структура *IRoadable* присоединяется к каждому объекту, для которого необходимо реализовать эту функциональность. Способ реализации данной интеграции представлен на диаграмме классов, изображенной на рис. 2.

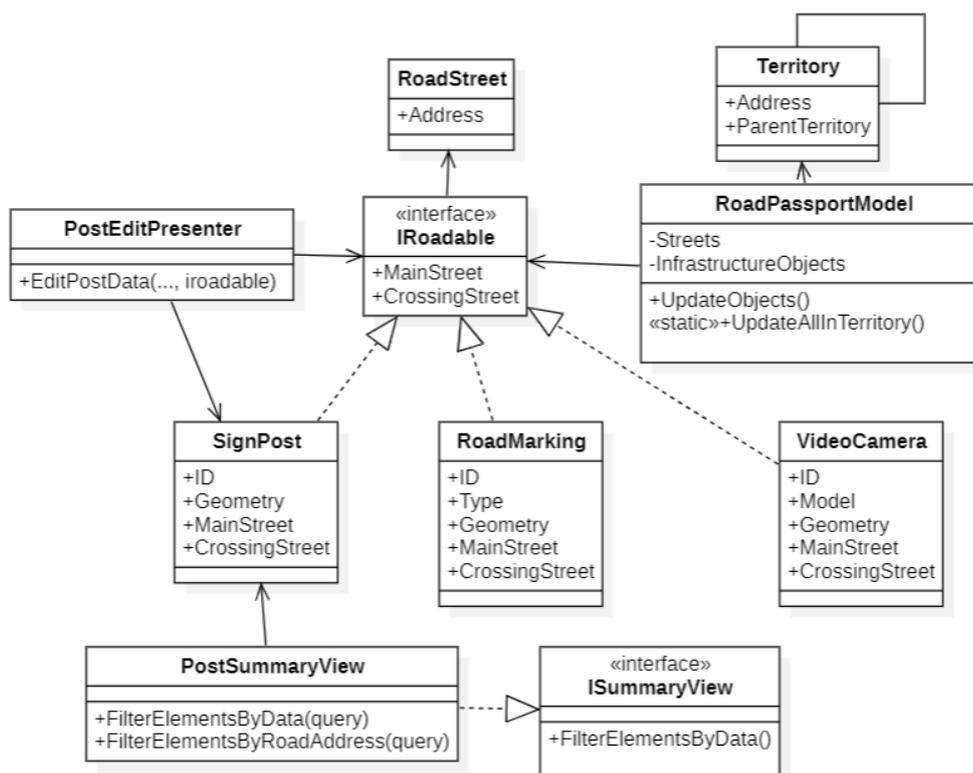


Рис. 2. Диаграмма классов адресно-информационной системы

Форма ввода информации об инфраструктурном объекте с адресной привязкой (т.е. со структурой *IRoadable*) реализует

выбор уличного адресного объекта. При создании нового инфраструктурного объекта в специальное поле автоматически записывается улица, ближайшая к объекту, а при близости перекрестка – две улицы, состоящие в данном перекрестке (рис. 3). При необходимости оператор системы может изменить улицу привязки.

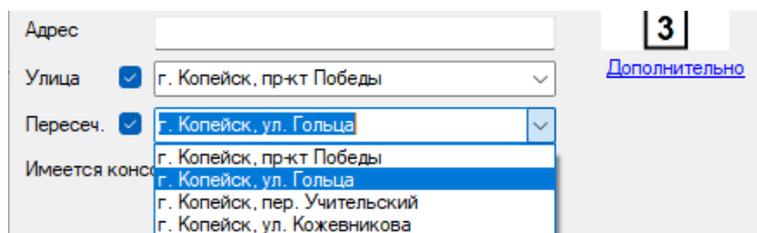


Рис. 3. Форма с редактируемыми полями улиц

Другой возможностью интерфейса адресно-информационной системы является фильтрация объектов в окнах сводной ведомости всех модулей, подключенных к данной системе. При подключении подсистемы становятся доступными два новых фильтра – «улица» и «населенный пункт», которые можно применить для уточнения поискового запроса и осуществления поиска по адресу.

Реализация адресно-информационной системы на основе предложенного алгоритма обеспечила повышение эффективности при работе с дорожными объектами за счет создания отчета об улице либо автодороге на основе атрибутивной информации и заполнения списков инфраструктурных объектов, заносимых в отчеты по соответствующим дорогам. Внедрение адресно-информационной системы позволило сократить объем работы на 1 км дороги на 0,86 ч (35 %) в сельской местности и на 1,31 ч (19 %) в городской местности.

Разработанная адресно-информационная система может быть использована на практике в сфере государственного управления, на транспорте и в логистике, в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, туризме и других сферах, повышая эффективность процессов принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Мордухов М. А., Палшев В. А. Практика применения методов транспортного планирования в городском округе Самара // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса. Самара, 2022. С. 27–35.

2. Шеховцов С. И., Скоробогатченко Д. А., Панфилов А. Э., Харитонов И. М. Алгоритм поминутной генерации пассажиропотока в системе городского общественного электротранспорта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 12. С. 168–174.

3. Mishina M., Mityagin S., Belyi A. [et al.]. Towards urban accessibility: modeling trip distribution to assess the provision of social facilities // Smart Cities. 2024. Vol. 7 (5). P. 2741–2762.

4. Смолев А. М., Головнин О. К. Семантико-топологическая модель адресного плана в системах поддержки принятия пространственных решений // Известия Самарского научного центра РАН. 2025. Т. 27, № 4. С. 183–195.

МУЛЬТИПЛЕКСОР ДЛЯ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Римма Александровна Томакова¹,
Никита Александрович Корсунский²,
Евгений Александрович Старцев³

^{1,2}*Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия*

³*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

¹rtomakova@mail.ru

²cor.nick2013@yandex.ru

³starcev_evgeniy@mail.ru

Аннотация. Представлена информационно-измерительная система для биоимпедансных исследований с разработанным мультиплексором. Система включает модуль сбора данных, программное обеспечение для настройки параметров и анализа, а также алгоритмы обработки сигналов. Использование мультиплексора обеспечивает автоматическую коммутацию каналов, снижение артефактов и сокращение времени эксперимента. Приведены примеры структуры системы и интерфейса программного обеспечения.

Ключевые слова: биоимпеданс, информационная система, мультиплексор, измерительный комплекс

MULTIPLEXER FOR BIOIMPEDANCE STUDIES

Rimma A. Tomakova¹, Nikita A. Korsunsky², Evgeny A. Startsev³

^{1,2}*South-West State University, Kursk, Russia*

³*Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia*

¹rtomakova@mail.ru

²cor.nick2013@yandex.ru

³starcev_evgeniy@mail.ru

Abstract. The paper presents an information-measuring system for bioimpedance research with a developed multiplexer. The system includes a data acquisition module, software for configuration and analysis, and signal processing algorithms. The multiplexer provides automatic channel switching, artifact reduction, and shorter experiment duration. Examples of the system structure and software interface are given.

Keywords: bioimpedance, information system, multiplexer, measurement complex

Биоимпедансные исследования широко применяются в медицинской диагностике и мониторинге. Ключевая задача многоканальных систем – быстрая коммутация каналов без ручного вмешательства. Традиционные решения требуют перестановки электродов, что увеличивает время эксперимента и риск артефактов. Электронные мультиплексоры автоматизируют процесс и расширяют возможности измерительных комплексов [1–5].

Разработанное устройство основано на DG409 [6] обеспечивает переключение четырёх пар вход-выход (8 каналов), питается от 9 В через стабилизатор и преобразователь ± 15 В. На панели расположены клеммники для электродов и разъём DB-37. Компактные размеры (140×110×35 мм) и модульная конструкция обеспечивают удобное использование [7, 8].

Внутреннее устройство включает микросхемы мультиплексора, цепи питания и разъёмы. Схема коммутации (рис. 1) построена на базе DG409 и обеспечивает выбор активного канала при помощи цифровых сигналов.

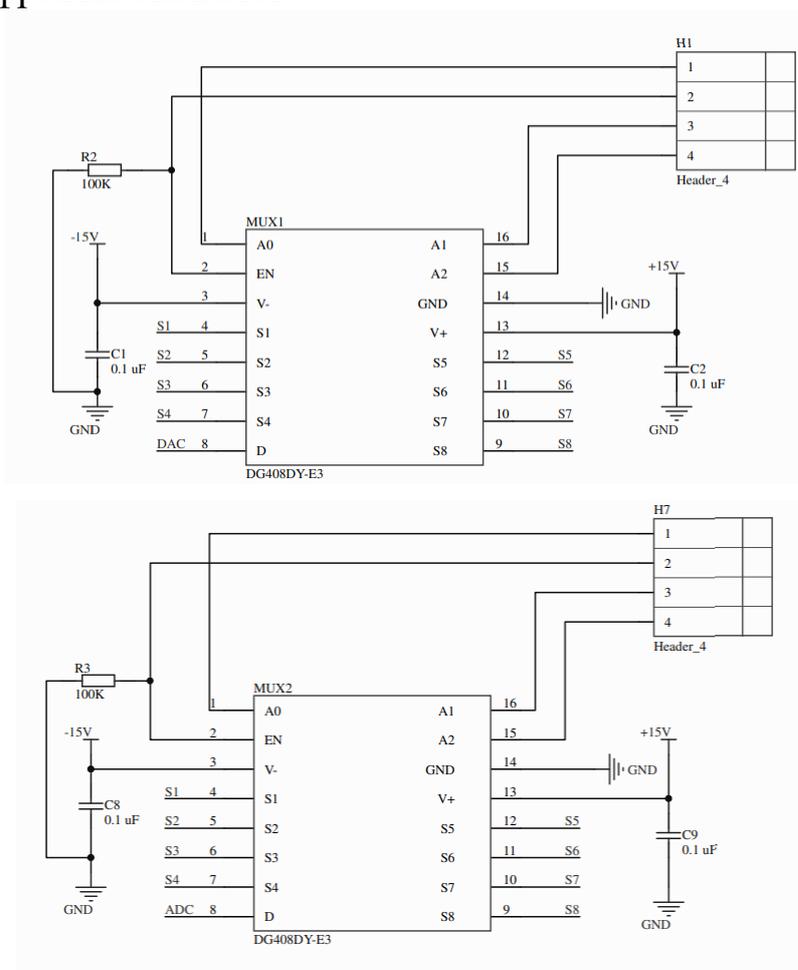


Рис. 1. Схема 8-канального мультиплексора

Для управления мультиплексором разработан программный модуль, позволяющий выбирать активные каналы, настраивать параметры зондирующего сигнала и визуализировать результаты измерений. Интерфейс программы обеспечивает выбор от 1 до 8 каналов, задание частотного диапазона и просмотр амплитудно-фазово-частотных характеристик биоимпеданса.

Результаты применения

Основные преимущества: подключение нескольких пар электродов без ручной перекоммутации, сокращение времени эксперимента и повышение воспроизводимости, снижение риска артефактов, компактность, автономное питание и совместимость с различными системами, гальваническая изоляция питания для безопасности пациента.

По сравнению с аналогами устройство сочетает компактность, автономность и удобный интерфейс. Использование малошумящих ключей и изолированного питания обеспечивает точность и безопасность. Совместимость с различными измерительными системами делает разработку универсальной для лабораторных и клинических задач.

Применение мультиплексора повысило эффективность исследований: автоматическая коммутация снизила вероятность ошибок и позволила формировать многомерные наборы данных. Совместно с ПО система подходит как для лабораторных, так и для клинических экспериментов.

Мультиплексор является частью комплексной системы, включающей модуль сбора данных, преобразователь ток-напряжение, ПО и алгоритмы анализа. Использование такой системы повышает достоверность результатов и расширяет сферу применения.

Разработанный мультиплексор представляет собой перспективное решение для проведения биоимпедансных исследований. Устройство обеспечивает удобную и безопасную коммутацию каналов, а программное обеспечение расширяет функциональные возможности анализа. В дальнейшем планируются интеграция комплекса с интеллектуальными системами поддержки принятия решений и проведение расширенных клинических испытаний.

Список литературы

1. 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. URL: <https://moitvivi.ru/ru/journal/pdf?id=864> doi: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.018

2. Серебровский А. В., Шаталова О. В., Лях А. В. [и др.]. Мультимодальный классификатор риска рака молочной железы на основе анализа импеданса биоматериала // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С. 142–159. doi: 10.21869/2223-1536-2024-14-2-142-159

3. Серебровский А. В., Корсунский Н. А., Лях А. В. [и др.]. Мультимодальный классификатор медицинского риска на основе многоэлектродного биоимпедансного преобразователя // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 3. С. 121–143. doi: <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-121-143>

4. 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

5. 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. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 4. С. 148–174. doi: <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-4-148-174>

6. Vishay Siliconix. DG408, DG409 8-Channel/Differential 4-Channel CMOS Analog Multiplexers Vishay Intertechnology. 2019. URL: <https://www.vishay.com/docs/70062/dg408.pdf> (дата обращения: 01.08.2025).

7. Mornsun Power. E05_S-1WR3 Series DC/DC Converter Datasheet Mornsun. 2022. URL: <https://www.mornsun-power.com> (дата обращения: 11.08.2025).

8. Advanced Monolithic Systems. AMS1117 Series Datasheet AMS. 2017. URL: <https://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf> (дата обращения: 01.07.2025).

7. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

УДК 796:004

СЕРВИСЫ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ФИТНЕСА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАВМ: СОВРЕМЕННЫЕ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ РАЗВИТИЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Дмитрий Александрович Алимов¹,
Светлана Валентиновна Рындина²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹dima.alimov.2002@mail.ru

²svetlanar2004@yandex.ru

Аннотация. Проведена классификация цифровых решений реабилитационного фитнеса для пациентов, получивших механические травмы; проанализированы их преимущества. Рассмотрены возможности включения технологий искусственного интеллекта в функционал таких решений для усиления реабилитационной компоненты. Сформулированы рекомендации для развития здоровьесберегающих технологий за счет использования дополнительной функциональности на основе искусственного интеллекта.

Ключевые слова: реабилитационный фитнес, здоровьесберегающие технологии, искусственный интеллект

REHABILITATION FITNESS SERVICES AFTER MECHANICAL INJURIES: MODERN HEALTH-SAVING TECHNOLOGIES AND THEIR DEVELOPMENT BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Dmitry A. Alimov¹, Svetlana V. Ryndina²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹dima.alimov.2002@mail.ru

²svetlanar2004@yandex.ru

Abstract. The classification of digital rehabilitation fitness solutions for patients with mechanical injuries is carried out, and their advantages are analyzed.

The possibilities of including artificial intelligence technologies in the functionality of such solutions to enhance the rehabilitation component are considered. Recommendations for the development of health-saving technologies through the use of additional functionality based on artificial intelligence are formulated.

Keywords: rehabilitation fitness, health-saving technologies, artificial intelligence

Цифровая трансформация медицины и смежных областей лечебной физической культуры и реабилитационного фитнеса позволяют повысить доступность комплексных программ восстановления после механических травм, точнее адаптировать под индивидуальные потребности пациента и в конечном итоге работают на улучшение результатов лечения [1].

В традиционной медицине продолжительное время уделялось недостаточное внимание восстановительному фитнесу, его роль в программах реабилитации для восстанавливающихся после механических травм пациентов была в значительной мере недооценена, а в отдельных случаях ошибочно считалось, что после травмы лучше не беспокоить пострадавшую область. Возможно, что распространению восстановительного фитнеса не хватало не только информационной поддержки со стороны медицинских работников, но и ресурсов на создание, сопровождение и реализацию подобных программ. В последние годы реабилитационные фитнес-программы все чаще становятся частью комплексной реабилитации благодаря менее требовательным к ресурсам цифровым вариантам. Доказано, что правильно подобранные упражнения повышают мышечный тонус, гибкость и подвижность, улучшают координацию, баланс и психологическое благополучие [2].

Фитнес-терапия становится одним из эффективных и востребованных методов реабилитации в различных областях медицины, а распространение передовых практик все больше опирается на цифровые решения, так как специалистов существенно меньше в сравнении со спросом на их услуги [3]. Цифровые решения для реабилитационного фитнеса – это один из способов организовать доступ к таким здоровьесберегающим технологиям, сделать их массовыми и финансово достижимыми. Цифровой реабилитационный фитнес включает: мобильные приложения, виртуальных тренеров, дистанционный мониторинг и т.п.

Проведем классификацию цифровых технологий реабилитационного фитнеса с выделением положительных сторон таких технологий и ограничений в их использовании.

1. Мобильные приложения и веб-платформы, предоставляющие персонализированные программы лечебной физкультуры для пациентов с различными видами механических травм. Обладают следующими преимуществами и ограничениями:

– Программы реабилитационного фитнеса могут быть персонализированы с учетом характера травмы и ее степени.

– Мотивация к выполнению программы и мониторинг/контроль соблюдения рекомендаций по режиму за счет интерфейса доступа к онлайн-тренировкам, оповещениям, напоминаниям и другим типам уведомлений в процессе реабилитации.

– Сбор и анализ данных о прогрессе состояния пациента в процессе реабилитации, отслеживание ключевых параметров для коррекции программы восстановления, предупреждения развития осложнений и выявление более эффективных вариантов фитнес-терапии на основе моделей, построенных на массиве данных от большого числа пациентов.

– Глубина адаптации и настройки программ под индивидуальные особенности пациентов имеет предел, скорее речь идет об учете наиболее распространенных сочетаний параметров.

– При начале использования требуется вводный инструктаж, а также последующее сопровождение взаимодействий пациента с приложением.

2. Виртуальные тренажеры и технологии дополненной реальности, использующиеся для занятия пациентами лечебной физкультурой в виртуальном пространстве, с симуляцией движений и нагрузок, специфичных для их реабилитации. Для таких цифровых решений характерно:

– Создание безопасных и контролируемых условий для выполнения сложных упражнений.

– Симуляция реальных движений, способствующая более быстрому восстановлению функций тела.

– Повышение мотивации пациентов за счет интересных и увлекательных тренировок.

– Высокая стоимость внедрения и обслуживания таких систем.

– Необходимость обучения медицинского персонала в работе с виртуальными тренажерами.

3. Датчики и устройства носимой электроники, используемые такие для мониторинга физиологических параметров пациента [4]. Разнообразные типы носимых устройств позволяют отслеживать пульс, физическую активность, качество сна и другие показатели. Роль такого мониторинга в удаленном наблюдении за состоянием пациента и прогрессе его процесса восстановления очень велика. Аналитические системы, которые на основе перечисленных данных могут делать прогнозы о состоянии пациента в ближайшем будущем, позволяют своевременно выявить тревожные сигналы и превентивно дополнить терапию снижающими риски манипуляциями, процедурами и препаратами. Использование гаджетов для реабилитации позволяет:

- Проводить мониторинг на постоянной основе и оперативно реагировать на изменения состояния пациента.

- Выполнять контроль и анализ данных о состоянии пациента в реальном времени.

- Ограниченная точность некоторых датчиков и устройств должна быть скомпенсирована дополнительными контрольными измерениями на медицинских приборах высокого класса точности.

4. Телемедицина и онлайн- консультации позволяют проводить удаленные консультации с врачами и физиотерапевтами. Пациенты могут получать профессиональную помощь и поддержку, не покидая свой дом, что особенно важно для тех, кто имеет ограниченную подвижность из-за травмы. Такие цифровые решения реализуют:

- Доступ к квалифицированным специалистам без необходимости физического присутствия.

- Повышение доступности медицинской помощи для людей, живущих в удаленных районах.

- Экономия времени и ресурсов как для пациентов, так и для медицинского персонала.

Однако при обработке чувствительных медицинских данных необходимо обеспечить надежную и безопасную передачу данных. Также для обследования в онлайн-режиме доступны не все возможности осмотра, контрольных тестов и измерений.

Функциональность цифровых решений реабилитационного фитнеса можно развить за счет технологий искусственного интеллекта (ИИ):

– Адаптация тренировок к персональным потребностям пациентов с помощью технологий ИИ [5] на основе данных (медицинской истории, данных с носимых устройств, данных результатов функциональных тестов и т.п.).

– Контроль техники выполнения упражнений: ИИ на основе компьютерного зрения выдает обратную связь по коррекции процесса тренировок с демонстрацией правильного способа и рекомендаций по исправлению неверных движений.

– Прогнозирование результатов: ИИ может предсказывать сроки реабилитации в зависимости от состояния пациента, мотивации и прилагаемых усилий, прогнозировать осложнения и своевременно предлагать рекомендации, снижающие риски их появления.

Однако использование технологий ИИ в реабилитации требует клинической валидации их полезности и эффективности, а также безопасности использования.

Эти примеры цифровых решений демонстрируют перспективность внедрения новых технологий в практику реабилитации, что может значительно улучшить ее эффективность, а также способствовать экономии ресурсов здравоохранения.

Список литературы

1. Большаков И. А. Фитнес как средство реабилитации // Научная конференция военно-научного общества Военного института физической культуры : сб. ст. (г. Санкт-Петербург, 14–15 марта 2023 г.). СПб. : Военный институт физической культуры, 2023. Ч. 2. С. 237–239.

2. Бобунов Д. Н., Проценко А. Р., Комиссаров Д. А. [и др.]. Комплексная реабилитация пациентов после спортивной травмы, обострения хронических заболеваний позвоночника на базе фитнес-центра // Уральский медицинский журнал. 2019. № 2 (170). С. 93–100. doi: 10.25694/URMJ.2019.02.32

3. Колпакова С. Н. Применение IT-технологий в сфере ЛФК и СМГ // Актуальные вопросы дополнительного профессионального образования в сфере физической культуры и спорта : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Краснодар, 15 ноября 2023 г.). Краснодар : Кубанский гос. ун-т физической культуры, спорта и туризма, 2023. С. 182–186.

4. Гельман В. Я. Использование фитнес-браслетов для контроля состояния здоровья при ответственном самолечении // Медицина. 2025. Т. 13, № 2 (50). С. 104–111. doi: 10.29234/2308-9113-2025-13-2-104-111

5. Потапова Е. В., Мухина М. А. Составление индивидуального плана тренировочного занятия с помощью искусственного интеллекта // Применение искусственного интеллекта в области физической культуры и спорта : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с Междунар. участием (г. Москва, 7 февраля 2025 г.). М. : Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, 2025. С. 173–177.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ БУХУЧЕТА В РОССИИ

Самира Дамировна Батерякова

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

samira190805@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются различные варианты автоматизации бухучета, используемые организациями для отражения и контроля финансово-хозяйственной деятельности. Деловые процессы и документооборот в силу особенностей своего исполнения подверглись автоматизации одними из первых. Однако интерес к автоматизированным системам, обслуживающим эти процессы, а также к развитию и совершенствованию функционала таких систем не ослабевает. Одна из актуальных современных инноваций в развитии систем автоматизации бухучета – дополнение их инструментами на основе технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: бухгалтерский учет, системы автоматизации, технологии искусственного интеллекта

FEATURES OF ACCOUNTING AUTOMATION IN RUSSIA

Samira D. Bateryakova

Penza State University, Penza, Russia

samira190805@mail.ru

Abstract. Various accounting automation options used by organizations to reflect and control financial and economic activities are being considered. Due to the specifics of their execution, business processes and document management were among the first to be automated. However, interest in automated systems serving them, as well as in the development and improvement of the functionality of such systems, does not weaken. One of the most relevant modern innovations in the development of accounting automation systems is the addition of tools based on artificial intelligence technologies.

Keywords: accounting, automation systems, artificial intelligence technologies

В современном мире бухгалтерский учет не сводится к набору однотипных и рутинных операций, но все же именно они в большинстве случаев преобладают в текущих процедурах учета финансово-хозяйственной деятельности. Автоматизация бух-

галтерского учета позволяет минимизировать риск ошибок, сэкономить время и ресурсы, ускорить операции.

Современные решения по автоматизации бухгалтерского учета включают электронный документооборот, автоматическую подготовку первичных документов, внутренний контроль.

Бухгалтерский учет – это упорядоченная система сбора, регистрации и обобщения информации в денежном выражении об имуществе, обязательствах организации и их движении путем сплошного, непрерывного и документального учета всех хозяйственных операций.

Бухгалтерский учет обязаны вести все организации, согласно Законодательству Российской Федерации. Его ведение регулирует Федеральный закон «О бухгалтерском учете» № 402-ФЗ. Данный закон – основа для организации бухгалтерского учета.

В настоящее время бухгалтерский учет – ключевой элемент языка бизнеса, способствующий более эффективному управлению организацией. В нем отражается вся финансово-хозяйственная деятельность компании.

Основными задачами бухгалтерского учета являются:

- расчеты по налогам и обязательным отчислениям;
- формирование выборок, сводов и отчетной документации;
- хранение и систематизация финансовых данных.

В определенный момент появляется необходимость в автоматизации бухгалтерского учета. Под этим понимается использование специализированных программных решений для проведения финансовых операций, хранения и обработки данных, формирования отчетности и контроля расчетов.

Причины внедрения автоматизированного бухгалтерского учета:

– минимизация ошибок. Большинство погрешностей связано с человеческим фактором. При ручном вводе данных, выполнении расчетов налогов или заработной платы повышается вероятность ошибок и опечаток. Программы, используемые для автоматизации в данной области, функционируют по заранее заданным алгоритмам, что почти исключает такие ошибки;

– повышение эффективности и экономия ресурсов. Системы автоматизации позволяют снизить до 70 % загруженность бухгалтера на выполнение однотипных задач;

– ускорение операций. Формирование счетов, актов, накладных, расчет заработной платы, подготовка отчетности выполняются значительно быстрее.

– прозрачность и контроль. Внедрение автоматизация бухгалтерского учета предоставляет руководству актуальные данные о финансовом состоянии компании;

– соответствие законодательству. Программные системы регулярно обновляются с учетом изменений в налоговом и бухгалтерском законодательствах. Это снижает риски штрафов и блокировки счетов из-за неточностей в документации.

При переходе организация на автоматизированный бухгалтерский учет эффект заметен почти сразу. Повышается не только скорость выполнения операций, но и качество всей финансовой работы.

Во-первых, исчезает основная проблема традиционного учета – человеческий фактор: опечатки, ошибки в расчетах налогов или заработной платы, потеря документов. Всё это становится редким явлением.

Во-вторых, увеличение эффективности и экономия ресурсов. Раньше бухгалтер мог тратить значительное количество времени на подготовку отчетности или составление платежей, теперь же эти задачи решаются за несколько минут. Также уменьшаются расходы на документацию в бумажном формате: меньше печати документов, архивов, почтовых отправлений.

Руководству важен оперативный доступ к аналитике. Современные программы дают возможность видеть актуальные финансовые данные в режиме реального времени. Это позволяет своевременно принимать решения на основе точной информации.

Ценным является и прозрачность бизнеса. Все финансовые операции фиксируются в системе автоматизации бухгалтерии, что позволяет руководителю быстро проверить движение денежных средств и текущую задолженность

Очень важным является вопрос соответствия законодательству. Бухгалтерские программы регулярно обновляются, учитывая изменения в налоговом и бухгалтерском праве. Благодаря этому минимизируются риски штрафов [1].

На российском рынке представлено достаточно большое число программ для автоматизации бухучета. К наиболее зрелым и хорошо зарекомендовавшим себя решениям относятся «1С:Бухгалтерия», «СБИС», «Инфо-бухгалтер» [2].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) позволяют реализовать дополнительный функционал, включающий:

- распознавание плохо отсканированных документов, фотографий чеков;
- дополнительный контроль информации, распознанной с бумажных носителей (счетов, актов, справок);
- помощь в подборе бухгалтерских проводок на основе анализа открытых документов в программе;
- автоматическая сверка данных между различными регистрами, проверка требований законодательства и вывод выявленных расхождений;
- выявление аномалий в учетных операциях, с предупреждениями о нарушениях в диапазоне анализируемых данных в режиме реального времени.

Следует отметить, что использование внешних по отношению к системе автоматизации бухгалтерского учета инструментов с ИИ сопряжено с определенными рисками, к которым относятся утечка конфиденциальных данных и нарушение норм российского законодательства, запрещающего обработку определенных типов данных на зарубежных серверах.

В российских системах бухучета пока реализуется более упрощенный вариант интеллектуализации отдельных функций, а не полноценные ИИ-помощники. Но дальнейшее развитие функционала скорее всего будет происходить с использованием моделей ИИ [3].

Список литературы

1. Смагина М. Н., Москаленко Н. В. Бухгалтерский учет и аудит : учеб. пособие. Тамбов : Тамбовский гос. техн. ун-т, 2023. 144 с.
2. Джаферова С. Э., Муртазаева Ш. Н. Сравнительная характеристика автоматизированных систем бухгалтерского учета в России // Национальные экономические системы в контексте трансформации глобального экономического пространства : сб. науч. тр. / под общ. ред. З. О. Адамановой. Симферополь : Ариал, 2023. С. 423–427.
3. Климкина Л. П., Ментюкова О. В. Интеллектуальная автоматизация бухучета // Бухгалтерский учет, анализ, аудит и налогообложение: проблемы и перспективы : сб. ст. X Всерос. науч.-практ. конф. (г. Пенза, 17–18 января 2022 г.). Пенза : Изд-во Пензенского гос. аграрного ун-та, 2022. С. 70–73.

ЦИФРОВОЙ ПОМОЩНИК ДЛЯ СЕМЕЙНОГО БИЗНЕСА НА ПРИМЕРЕ ЗАВЕДЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Яна Николаевна Герасина

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

gerasina05@bk.ru

Аннотация. Рассматривается возможность развития семейного бизнеса в сфере общественного питания на основе использования цифрового помощника. Мобильное приложение для управления семейным кафе или рестораном позволяет следовать лучшим практикам исполнения бизнес-процессов без привлечения дорогостоящих консультантов. Оно является бюджетной альтернативой внедрения специализированного программного обеспечения, требовательного к инфраструктуре, квалификации обслуживающего персонала и стоимости использования. Демократизация цифровых технологий с целью автоматизации и поддержки семейного бизнеса имеет большое значение для развития такого формата предпринимательства, снижает риски старта и делает семейный бизнес более привлекательным для начинающих.

Ключевые слова: мобильное приложение, семейный бизнес, кафе, предприятие общественного питания

A DIGITAL ASSISTANT FOR A FAMILY BUSINESS USING THE EXAMPLE OF A CATERING ESTABLISHMENT

Yana N. Gerasina

Penza State University, Penza, Russia

gerasina05@bk.ru

Abstract. The possibility of developing a family business in the food service industry using a digital assistant is being explored. A mobile app for managing a family-owned café or restaurant allows for best practices in business processes without the need for expensive consultants. It offers a cost-effective alternative to implementing specialized software, which is demanding in terms of infrastructure, staff qualifications, and operating costs. Democratizing digital technologies for automation and support of family businesses is crucial for the development of this type of entrepreneurship, reducing start-up risks, and making family businesses more attractive to aspiring entrepreneurs.

Keywords: mobile application, family business, cafe, catering establishment

В современном мире цифровые технологии все чаще применяются в сфере обслуживания. Но для семейного бизнеса существует не так много решений. Есть разработки отдельных модулей/приложений, которые автоматизируют, поддерживают отдельные направления бизнеса: маркетинг, продажи, прием платежей и т.п. Есть большое количество систем автоматизации, ориентированных на ресторанный бизнес, но они больше подходят сетевым и/или полноформатным заведениям общественного питания.

Мобильные приложения чаще рассматриваются как интерфейс взаимодействия с клиентами [1, 2]. Но мобильное приложение можно разработать для иных бизнес-целей, оно способно выступать цифровым помощником для сотрудников при выполнении бизнес-процессов. Мобильное приложение с привычным интерфейсом, проще освоить сотрудникам разных возрастных групп, которые в силу семейных связей и будут работать в таком бизнесе. Интерфейс разрабатываемого для поддержки семейного бизнеса мобильного приложения представлен на рис. 1.



Рис. 1. Стартовая страница мобильного приложения

Данное приложение будет выполнять систему функций, способствуя повышению эффективности работы и улучшению качества обслуживания клиентов.

Мобильное приложение упрощает коммуникации между сотрудниками – одну из главных проблем в сфере обслуживания,

том числе, в заведениях общественного питания. Оно также позволяет сотрудника оперативно обмениваться информацией: оповещать сотрудников об изменениях в меню, о необходимости проведения уборки или закупки требуемых предметов и т.п. Это позволит семейной команде лучше координироваться и исключать ошибки, которые могут негативно повлиять на впечатление гостей от посещения и отразиться на репутации заведения.

Не менее важна функция обучения и контроля сотрудников. В ресторанном бизнесе есть много нюансов, которые влияют на качество обслуживания: ресторанный этикет, знание меню, особенности сервировки, знание санитарных норм и правил. Для семейного бизнеса важной опцией является взаимозаменяемость персонала, поэтому качественное обучение и своевременные подсказки играют важную роль. Сотрудники не приходят в бизнес со стороны, а готовятся к выполнению обязанностей внутри бизнеса. Мобильное приложение упростит и улучшит данный процесс, исключит человеческий фактор. При привлечении персонала со стороны, мобильное приложение упростит его адаптацию к новым процессам и обязанностям. Сотрудник в незнакомой обстановке часто стесняется лишней раз показать свою неосведомленность или спросить разъяснения непонятной ему информации, что в дальнейшем может привести к систематическим ошибкам в работе. При передаче информации от наставника к стажеру часто происходят ее потери: наставник сам может добросовестно заблуждаться и сообщить неверную информацию, или забыть про важные нюансы, что в дальнейшем скажется на всей работе сотрудника. Приложение сведет такие ошибки к минимуму, с помощью него обучение будет более структурированным и последовательным, что позволит не упустить важную информацию в процессе обучения. Процесс обучения может быть адаптирован под требования к конкретному сотруднику и его роли в семейном бизнесе. Например, начальная информация, необходимая всем, – это техника безопасности, правила пищевой безопасности, аллергены и т.д. Далее информация разделяется на категории в зависимости от ролей: бармены, официанты, повара и т.д. Для каждой роли базовые инструкции, актуализирующие основные требования к выполняемым действиям/работам, а также видеоматериалы и рекомендации по работе с оборудованием и обслуживанием клиентов.

С помощью приложения упрощается следование нормам и правилам, а также выполнение рутинных операций сотрудниками. Для этого добавлены необходимые техмаршруты открытия

и закрытия. В них подробно описаны все действия, которые требуется произвести перед открытием или закрытием кафе. Так техмаршрут открытия включает перечень необходимых действий и проверок, который является интерактивным списком с возможностью отметок соответствий/нарушений, созданием заметок, фотографии, которые можно прикрепить к отчету. Это позволит снизить критические ошибки, которые могут повлиять на качество продукции. Отчет о прохождении техмаршрута сохраняется в базе и может быть отправлен ответственному лицу, исполняющему роль администратора. В приложении можно видеть в режиме реального времени создаваемые отчеты, заявки и другие документы, обслуживающие деятельность кафе. Все это повысит эффективность и качество работы персонала.

Для повторяющихся процессов цифровой помощник, которым является приложение, выводит справку или чек-лист при их выполнении. Такая информационная поддержка необходима при приеме поставки, при обращении к рецептуре блюд, напитков и т.д.

Внедрение мобильного приложения в работу семейного кафе значительно повысит эффективность сотрудников, улучшит коммуникацию, качество продукции, соблюдение правил безопасности, повысит уровень обученности персонала. В результате чего кафе сможет не только повысить качество обслуживания, но и привлечь больше новых и постоянных клиентов, что в долгосрочной перспективе приведет к росту прибыли. А с учетом быстрого развития технологий, данные решения становятся не просто желанными, а практически необходимыми для успешной работы в конкретной среде.

Список литературы

1. Баскакова О. В., Димов Г. В., Мачабели М. Ш. Мобильные приложения в развитии ресторанного бизнеса // *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*. 2015. № 6. С. 47–51.

2. Славнова Т. М. Инструменты мобильного маркетинга в деятельности предприятий сферы общественного питания на примере сетей ресторанов быстрого питания // *Экономика строительства*. 2024. № 12. С. 106–110.

МОДУЛЬ ПРЕДОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГИБКОГО КЛАССИФИКАТОРА

Сергей Валерьевич Ефанов¹, Елена Николаевна Иванова²

^{1,2}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹nshysh@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается актуальная задача автоматизированного анализа большого объема текстовых данных в условиях документооборота и многозадачности. Основное внимание уделено модулю предобработки текстовых данных, являющемуся ключевым компонентом гибкого классификатора. Предложенный модуль выполняет очистку, нормализацию, лемматизацию и токенизацию текстов, обеспечивает поддержку различных форматов и восстановление поврежденных структур данных. Экспериментально показано, что использование модуля повышает скорость обработки входного потока на 15 % и улучшает устойчивость классификатора к «битым» структурам, что обеспечивает более эффективную автоматическую классификацию текстовой информации.

Ключевые слова: рубрикация данных, вычислительная система, процесс классификации, поток текстовых данных, кластеризация смысловых групп

TEXT DATA PREPROCESSING MODULE FOR FLEXIBLE CLASSIFIER

Sergey V. Efanov¹, Elena N. Ivanova²

^{1,2}South-West State University, Kursk, Russia

¹nshysh@yandex.ru

Abstract. The paper addresses the relevant task of automated analysis of large volumes of textual data in document workflows and multitasking environments. The focus is on the text data preprocessing module, which is a key component of a flexible classifier. The proposed module performs text cleaning, normalization, lemmatization, and tokenization, supports various formats (JSON, XML, HTML), and restores corrupted data structures. Experimental results show that using the module increases the processing speed of the input data stream by 15 % and improves the classifier's resilience to “broken” structures, enabling more efficient automatic classification of textual information.

Keywords: data categorization, computing system, classification process, text data flow, clustering of semantic groups

Сегодня особенно актуальна задача оперативного анализа документооборота. Поиск необходимой информации становится критически важным в условиях большого объема данных. Для автоматизации этого процесса применяются специализированные поисковые системы, имеющие классификаторы [1]. Существуют различные решения, способные осуществлять поиск, однако не все они обеспечивают автоматическую обработку информации с высокой скоростью анализа и выдачи результатов [2]. Кроме того, сохраняется проблема эффективной организации данных и поиска текстовой информации в условиях 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]. Для улучшения качества классификации текстовых данных необходимо произвести предобработку входного базиса.

Модуль предобработки – это программный компонент интеллектуальной поисковой системы анализа данных, выполняющий подготовку исходного текстового потока к дальнейшей классификации. Его назначение: обеспечивать преобразование неструктурированных текстовых данных в формат, пригодный для анализа гибким классификатором. А также устранять шумы и аномалии в данных, повышая точность и стабильность работы классификатора [6].

Компонент предобработки текстовых данных решает следующие функциональные задачи, отображенные на рис. 1.



Рис. 1. Функциональные задачи

На этапе сбора и интеграции данных происходит получение массива байт из источников данных. Данных массив будет проанализирован и преобразован в текстовый базис. Важно отметить, что осуществляется поддержка разных текстовых форматов (JSON, XML, HTML, и др.).

На этапе «очистка и нормализация» выполняются операции форматирования текста, когда происходит удаление лишних символов, тегов и сопутствующих ссылок. Происходит конвертация массива символов к стандартной кодировке (UTF-8). Далее выполняется лемматизация для унификации словоформ, а затем токенизация – разбиение текста на слова.

На этапе «проверка целостности данных» происходит анализ данных на предмет наличия «битых» структур. При выявлении таких особенностей, они устраняются. Цель данного этапа: восстановить поврежденных структур JSON/XML таким образом, чтобы можно было корректно выполнить анализ этих структур.

Использование модуля предобработки текстовых данных в составе гибкого классификатора позволяет существенно повысить качество обработки информации. Экспериментально показано, что внедрение данного компонента увеличивает скорость обработки входного потока данных на 15 % по сравнению с системой без предобработки. Реализация предложенного модуля обеспечивает оптимизацию процесса автоматической классификации текстовых данных, повышая эффективность работы системы. Кроме того, модуль повышает устойчивость классификатора к «битым» структурам, что позволяет корректно обрабатывать большой объём тестовых данных.

Список литературы

1. Ефанов С. В., Иванова Е. Н., Чернецкая И. Е. Метод и алгоритм интеллектуальной обработки текстовой информации // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 3. С. 22–35. doi: 10.21869/2223-1536-2024-14-3-22-35 EDN: ERERPD

2. Ефанов С. В., Иванова Е. Н. Система параллельной обработки потока текстовых данных // Интеллектуальные и информационные системы : 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 : МЦНС «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.). Курск, 2021. С. 114–116.

6. Ефанов С. В., Иванова Е. Н. Алгоритм интеллектуальной обработки текстовой информации // Интеллектуальные системы 4-й промышленной революции : сб. материалов VI Междунар. форума (г. Томск, 23–24 ноября 2023 г.). Томск : СТТ, 2024. С. 20-21. EDN: GIMGDM

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ В КРИПТОВАЛЮТЕ

Роман Александрович Кац

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения, г. Санкт-Петербург, Россия*

mortimerachan@mail.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ криптографических примитивов в криптовалюте. Рассмотрены примитивы Sha-256, Blake2, Ecdsa и др. Выявлены их преимущества и недостатки. Полученные результаты показывают надежность криптографических примитивов и возможные угрозы.

Ключевые слова: криптографические примитивы, криптовалюты, квантовая криптография

COMPARATIVE ANALYSIS OF CRYPTOGRAPHIC PRIMITIVES IN CRYPTOCURRENCY

Roman A. Katz

*Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint Petersburg, Russia*

mortimerachan@mail.ru

Abstract. A comparative analysis of cryptographic primitives in cryptocurrency was conducted. Sha-256, Blake2, Ecdsa, and other primitives were examined, and their advantages and disadvantages were identified. The results demonstrate the reliability of cryptographic primitives and potential threats.

Keywords: cryptographic primitives, cryptocurrencies, quantum cryptography

Криптографические примитивы являются основой безопасности и функционирования криптовалют. Они обеспечивают конфиденциальность, целостность, аутентификацию и защиту от атак. В данной статье рассмотрены основные криптографические примитивы, используемые в популярных криптовалютах, их особенности, области применения и проведен сравнительный анализ.

1. Хэш-функции

– SHA-256: Используется в Bitcoin для создания цифровых подписей и майнинга. Предоставляет высокий уровень безопасности и широко используется в криптографических приложениях [1].

– RIPEMD-160: Применяется в Bitcoin для создания адресов. Обеспечивает компактность и безопасность [1].

– BLAKE2: Используется в некоторых криптовалютах для хэширования данных. Обеспечивает высокую скорость и безопасность [2].

2. Алгоритмы цифровых подписей

– ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm): Используется в Bitcoin и Ethereum для создания цифровых подписей, обеспечивая безопасность и эффективность [1].

– EdDSA (Edwards-curve Digital Signature Algorithm): Применяется в Monero и других криптовалютах, обеспечивая более высокую безопасность и производительность по сравнению с ECDSA [2].

3. Криптографические схемы без разглашения (ZKP)

– ZK-SNARKs: Используются в Zcash для обеспечения конфиденциальности транзакций, позволяя скрывать детали транзакций, такие как отправитель, получатель и сумма [3].

– ZK-STARKs: Предлагают улучшенную масштабируемость и безопасность по сравнению с ZK-SNARKs, но требуют больше вычислительных ресурсов [6].

4. Кривые Эдварда (Edwards Curves)

– Curve25519: Используется в Monero и других криптовалютах для обмена ключами, обеспечивая высокую безопасность и производительность [3].

– Curve448: Предлагает более высокий уровень безопасности по сравнению с Curve25519, но менее широко используется [2].

5. Протоколы обмена ключами

– Diffie-Hellman (DH): Используется для безопасного обмена ключами между двумя сторонами, обеспечивая конфиденциальность и защиту от атак [4].

– Elliptic Curve Diffie-Hellman (ECDH): Предлагает более высокую безопасность и эффективность по сравнению с традиционным DH [2].

Применение криптографических примитивов в криптовалютах:

– Bitcoin: Использует SHA-256 и RIPEMD-160 для хэширования и создания адресов, ECDSA для цифровых подписей, обеспечивая безопасность и децентрализованность сети [1].

Таблица 1

Сравнение криптографических примитивов

Примитив	Применение в криптовалютах	Преимущества	Недостатки
SHA-256	Bitcoin	Высокая безопасность, стандартизирован	Медленная скорость хэширования
RIPEMD-160	Bitcoin	Компактность, безопасность	Менее распространен
BLAKE2	Некоторые криптовалюты	Высокая скорость, безопасность	Меньше поддерживается в индустрии
ECDSA	Bitcoin, Ethereum	Эффективность, безопасность	Уязвимость к квантовым атакам
EdDSA	Monero, другие	Высокая безопасность, производительность	Меньше поддерживается в индустрии
ZK-SNARKs	Zcash	Конфиденциальность транзакций	Требуют доверенной настройки
ZK-STARKs	Предложения	Масштабируемость, безопасность	Высокие вычислительные требования
Curve25519	Monero, другие	Безопасность, эффективность	Меньше поддерживается в индустрии
Curve448	Предложения	Высокая безопасность	Менее широко используется
Diffie-Hellman	Общий случай	Безопасный обмен ключами	Уязвимость к квантовым атакам
ECDH	Общий случай	Эффективность, безопасность	Уязвимость к квантовым атакам

– Ethereum: Применяет SHA-256 и Кескак-256 для хэширования, ECDSA для цифровых подписей, поддерживает смарт-контракты, обеспечивая гибкость и функциональность [1].

– Monero: Использует EdDSA для цифровых подписей, Curve25519 для обмена ключами, RingCT для скрытия сумм транзакций, обеспечивая высокий уровень конфиденциальности [1].

– Zcash: Применяет ZK-SNARKs для обеспечения конфиденциальности транзакций, позволяя скрывать детали транзакций, такие как отправитель, получатель и сумма [1].

Далее рассмотрим краткие выводы по обзору криптографических примитивов, наиболее важные текущие уязвимости и рекомендации по их снижению.

1. Криптопримитивы в наиболее распространенных крипто-валютах в большинстве случаев математически надёжны, но основная доля инцидентов связана с реализацией, параметризацией и эксплуатацией (RNG, управление ключами, баги в коде, доверенные настройки) [1, 5].

2. Будущая основная угроза – квантовая, но многие системы уязвимы теоретически, а практическая миграция к постквантовым схемам – сложная инженерная и социально-техническая задача [5, 6].

Ошибки реализации и протоколирования (наиболее частая причина инцидентов)

– Повторно используемые/слабые сгенерированные nonce в схемах на эллиптических кривых (ECDSA, Schnorr) приводят к вытеканию приватных ключей [5].

Механизм: если две подписи сделаны с одним и тем же k (nonce), приватный ключ восстанавливается.

Митигирование: детерминированные nonce (RFC6979 для ECDSA), проверка RNG, тесты на повторные nonce [5].

– Ошибки в библиотеках (parity, openssl, libsodium и т.д.) приводят к уязвимостям на уровне кошельков и нод [1].

Митигирование: автоматизированные CI-тесты, fuzzing, аудиты, безопасные языки и ограничение TCB (trusted computing base).

– Ошибки при валидации подписей и скриптов приводят к возможностям двойного расходования и снятия ограничений смарт-контрактов [1].

Слабые/компрометированные источники случайных чисел (RNG)

– Аппаратные/ПО RNG могут давать предсказуемые значения (например, при неправильной инициализации среды) [5].

Последствия: восстановление приватных ключей, уязвимости в создании ключей шифрования и подписи транзакций.

Митигирование: использование крипто-стойких DRBG, перемешивание энтропии, защита от форк-влияния, тестирование энтропии [5].

Квантовая угроза:

– Алгоритм Шора «ломает» схемы, использующие проблему факторизации и проблему дискретного логарифма (ECDSA, ECDH) – потенциальный риск для всех систем, где секретные ключи хранятся долго или, где можно записать и позже расшифровать/подделать подпись [6].

Степень риска: низкая/средняя (практический квантовый компьютер, способный атаковать 256-битную эллиптическую кривую – пока отсутствует).

Митигирование: планирование миграции (криптоагильность), комбинированные подписи (классическая + постквантовая), подготовка стандартов [6].

Недостатки приватности и утечка метаданных:

– Неинвазивные примитивы (ECDSA, обычные UTXO-модели) оставляют богатую телеметрию: сети дешифруемых транзакций, связывание адресов, анализ графа транзакций.

Решения/альтернативы: CoinJoin, Confidential Transactions, Ring Signatures, zk-SNARKs/ZK-proofs, но каждая технология имеет свои компромиссы (производительность, доверенная настройка, верифицируемость).

Уязвимости доверенных настроек и параметров (trusted setup):

– ZK-SNARKs (например, классические ZKSNARKs с trusted setup): если исходная "ceremony" компрометирована, возможно печатание приватных транзакций или создание поддельных доказательств [1].

Митигирование: multi-party computation (MPC) церемонии, переход на прозрачные конструкции (ZK-STARKs) или ZK-schemes без trusted setup [1, 6].

Системные/протокольные атаки

– Replay attacks при форках, transaction malleability (исторически – в Bitcoin), timejacking, eclipse attacks – эти атаки не ломают криптографию, но используют проектные/сетевые слабые места [1].

Митигирование: корректная спецификация, ноды с защитами, VIP-выпуски (например, SegWit устранил некоторые проблемы).

Недостаточная криптоагильность (устойчивость к смене примитивов):

– Многие протоколы жестко связывают формат адреса, подписи и хэш-функции – миграция на постквантовые схемы или другие кривые становится сложной [1, 6].

Митигирование: проектирование с криптоагильностью (версии протокола, поддержка нескольких схем, гибкие форматы подписей).

Проблемы масштабируемости и компромиссы безопасности – Более сложные примитивы (ZK-proofs, confidential transactions) требуют вычислений и хранилища – блокчейн-сети вынуждены выбирать между конфиденциальностью и throughput/комиссией.

Митигирование: Layer-2 решения, оптимизированные доказательства, аппаратное ускорение.

В ходе проведённого аналитического обзора были рассмотрены ключевые криптографические примитивы, используемые в популярных криптовалютах, такие как хэш-функции (SHA-256, RIPEMD-160, BLAKE2), алгоритмы цифровых подписей (ECDSA, EdDSA), схемы с нулевыми разглашениями (ZK-SNARKs, ZK-STARKs), а также криптографические протоколы обмена ключами и эллиптические кривые (Curve25519, Curve448). В статье показано, что эти примитивы играют фундаментальную роль в обеспечении безопасности, конфиденциальности и целостности транзакций, а также в поддержании децентрализации сетей.

Проведенный анализ выявил, что основными проблемами и уязвимостями являются не столько математические свойства примитивов, сколько практические аспекты их реализации, управление случайностью, необходимость доверенных настроек в некоторых схемах и потенциальные риски, связанные с развитием квантовых вычислений. Кроме того, сохранение баланса между обеспечением приватности пользователей и требованиями регуляторов остаётся важной задачей для дальнейшего развития криптографических решений в криптовалютах.

В работе также указана необходимость перехода на криптоагильные протоколы, которые позволят своевременно адаптироваться к появлению новых угроз, включая постквантовые атаки.

Список литературы

1. Narayanan A., Bonneau J., Felten E. [et al.]. Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction. Princeton University Press, 2016.
2. Костюков С. П., Шаронов А. И. Криптография и безопасность информации. М. : ДМК Пресс, 2018.

3. Бархатова Е. А. Криптографические протоколы и их применение в распределенных системах. СПб. : Питер, 2016.
4. Кац Ю. Д. Курс современной криптографии. М. : Бином, 2012.
5. Menezes A. J., van Oorschot P. C., Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press, 1996.
6. Goldwasser S., Bellare M. Lecture Notes on Cryptography. 2008.
URL: <https://sciarium.com/file/50831/>

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ, НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ, СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Дарья Николаевна Климова¹,
Ксения Александровна Нижегородова²

^{1,2}*Донской государственной технической университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

¹ya.cdn77@yandex.ru

²ksenizh@mail.ru

Аннотация. Проведен комплексный анализ влияния технологии интернета вещей (IoT) на социально-экономическое развитие в ключевых сферах жизни общества: экономике, науке, образовании и социальной сфере. На основе анализа современных исследований демонстрируется, что IoT выступает основным двигателем процессов трансформации.

Ключевые слова: интернет вещей, информационные технологии, социально-экономическое развитие, цифровые технологии

THE INFLUENCE OF THE INTERNET OF THINGS ON THE DEVELOPMENT OF ECONOMICS, SCIENCE, EDUCATION AND THE SOCIAL SPHERE

Daria N. Klimova¹, Xenia A. Nizhegorodova²

^{1,2}*Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia*

¹ya.cdn77@yandex.ru

²ksenizh@mail.ru

Abstract. A comprehensive analysis of the impact of the Internet of Things (IoT) technology on socio-economic development in key areas of society: economics, science, education and the social sphere has been carried out. Based on the analysis of modern research, it is demonstrated that the IoT is the main engine of transformation processes.

Keywords: Internet of Things, information technology, socio-economic development, digital technologies

В настоящее время развитие информационных технологий направлено на улучшение и облегчение жизни современного человека. Для этого, в различных областях экономики, науки, образования и социальной сферы, внедряют различные инновационные технологии, в том числе и интернет вещей (IoT).

Рассмотрим каким образом применение технологии IoT оказало значение на социально-экономическое развитие.

Начнем с оценки влияния внедрения интернета вещей на развитие экономики. Е. М. Кобозева и С. Г. Добрик анализируют роль технологии интернета вещей в промышленности [1]. Авторы считают, что использование технологии IoT способствует автоматизации производственных процессов, повышению производительности труда, эффективному управлению и расходованию ресурсов, сокращению количества низкоквалифицированных рабочих мест, а так же применение ее в транспорте и логистике поможет оптимизировать маршруты, предоставит возможность мониторинга перевозок в реальном времени и повысит их безопасность. Для бизнеса данные улучшения помогут сократить логистические издержки, улучшат качество обслуживания клиентов и увеличат прозрачность цепочек поставок.

И. Г. Паршутина, А. И. Солодовник и А. В. Амелина рассматривают влияние информационных технологий на производительность, анализируют статистические данные российской и зарубежной экономик, а также исследуют производство, основываясь на применении ими интернета вещей [2]. Их исследование показало, что развитие интернета вещей способствует совершенствованию системы процессов управления предприятием, позволяет обеспечивать эффективный механизм рыночного распределения, стимулирует развитие сетевой экономики, оказывает влияние на развитие малого и среднего бизнеса, приводит к росту производительности отдельных предприятий и даже целых отраслей экономики.

В науке IoT можно использовать, например, для мониторинга окружающей среды, управления телескопами, изучения биоразнообразия. К. А. Татаринев в [3] отмечает, что для сохранения экологии применение интернета вещей позволяет создавать детальные карты загрязнения, прогнозировать экологические катастрофы, оптимизировать использование природных ресурсов. Автор также считает, что для качественного и повсеместного внедрения данной технологии необходима поддержка государства

для развития экологически чистых технологий и создания замкнутых циклов производства.

Образовательная среда для применения интернета вещей является достаточно благоприятной и может использоваться в процессе обучения для повышения качества образования. Авторы Е. Н. Котенко и А. В. Котенко в [4] рассматривают применение IoT в медицинском образовании. Например, в хирургическом обучении используются датчики отслеживания движения, применяющиеся для оценки и улучшения работы ординаторов хирургического профиля. Кроме этого, для анализа работоспособности обучающихся использовали различные датчики, контролирующие физическую активность студентов, качество сна, уровень стресса. Данная информация позволила проанализировать влияние режима на успеваемость и адаптировать процесс обучения для более качественной подготовки специалистов.

Китайгородский М. Д. в [5] пишет о том, что технологии интернета вещей расширяют возможности дистанционного обучения. Применение данных приборов позволят проводить лабораторные работы с применением реального, а не виртуального оборудования. Автор считает, что внедрение в современное образование IoT позволит повысить эффективность обучения, создаст новые форматы взаимодействия участников образовательного процесса, а также обеспечит персонализацию обучения.

Белоусов А. С. в [6] рассматривает важность обучения учеников технологии интернета вещей. Для изучения предлагается использовать проблемное обучение, проектную деятельность, различные цифровые инструменты и специальные конструкторы. Автор предлагает кейс «Умный улей», который можно использовать на уроках информатики для изучения технологии интернета вещей. А. С. Белоусова считает, что применение данного метода поможет ученикам освоить новые направления цифровой экономики и повысит их уровень на рынке труда цифровых компетенций.

В социальной сфере IoT применяется в различных областях жизни людей. Аксенова Е. И. и Горбатова С. Ю. в [7] рассматривают использование устройств интернета вещей в сфере здравоохранения. Они отмечают, что внедрение IoT в медицину позволяет снижать затраты на медицинское обслуживание, улучшить качество лечения и повысить эффективность работы медучреж-

дений. Кроме этого, использование данной технологии создаст доступную и персонализированную систему здравоохранения, ориентированную на профилактику заболеваний.

Технологию IoT применяют в концепции умного города. Так в [8] представлены компоненты умного города (умное ЖКХ, цифровизация информационных источников, общественная безопасность и т.д.), а также рассматриваются различные технологии и примеры их использования в разных странах. Авторы считают, что технологии IoT в умных городах оптимизируют управление городским хозяйством, улучшают качество жизни населения и создают более экологичную среду.

А. А. Капанский в [9] описывает применение технологии интернета вещей для управления и мониторинга в системах водоснабжения. Автор рассматривает проблемы систем водоснабжения (например, высокие энергозатраты на транспортировку ресурсов) и описывает технологии решения данных проблем. При этом к преимуществам использования технологии IoT он относит мониторинг в реальном времени и оптимизацию энергопотребления, а из недостатков выделяет нестабильность сигнала и сложность размещения станций в городской среде. Автор считает, что применение интернета вещей является достаточно перспективным для модернизации систем водоснабжения, однако необходимо тщательно выбирать технологии для решения существующих проблем.

Таким образом, можно отметить, что применение технологии интернета вещей оказывает комплексное и всестороннее влияние на социально-экономическое развитие, выступая одним из ключевых двигателей изменений в различных сферах, модернизируя существующие процессы и создавая новые форматы для взаимодействия.

Список литературы

1. Паршутина И. Г., Солодовник А. И., Амелина А. В. Анализ влияния цифровизации и интернета вещей на производительность труда в экономике // Вестник аграрной науки. 2023. № 4 (103). С. 155–163.
2. Котенко Е. Н., Котенко А. В. Интернет вещей в медицинском образовании: аналитический обзор применения технологии // Крымский терапевтический журнал. 2024. № 2. С. 35–39.

3. Татаринов К. А. Экологические возможности Интернета вещей // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2025. Т. 11, № 1. С. 370–379.

4. Кобозева Е. М., Добрик С. Г. Влияние технологий Интернета вещей на трансформационные процессы в различных отраслях экономики // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер.: Экономика. 2025. № 1 (355). С. 89–95.

5. Аксенова Е. И., Горбатов С. Ю. Применение технологий Интернета вещей в здравоохранении // Здоровье мегаполиса. 2021. Т. 2, № 4. С. 101–113.

6. Китайгородский М. Д. Сквозные цифровые технологии от индустрии к образованию // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Сер. № 1, Психологические и педагогические науки. 2021. № 2. С. 146–150.

7. Белоусова А. С. Обучение технологии интернета вещей на уроках информатики в школе посредством метода проблемного обучения // Вестник Московского городского педагогического университета. Сер.: Информатика и информатизация образования. 2023. № 1 (63). С. 132–143.

8. Пак А., Базарбай А., Ормеке А., Куттыбаева А. Применение «Интернет вещей» в «Умном городе» // Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft. 2021. № 9-1. С. 33–36.

9. Капанский А. А. Использование технологии интернета вещей для информационного обеспечения процессов управления и мониторинга в системах водоснабжения // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Шестой национальной (Всерос.) науч.-техн. конф. (г. Петропавловск-Камчатский, 9–10 ноября 2023 г.). Петропавловск-Камчатский : Камчатский гос. техн. ун-т, 2024. С. 105–110.

КОГНИТИВНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА УМНЫХ ГОРОДОВ

Данил Викторович Колесников

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

den71997@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются современные подходы к построению концепции умного города (Smart City), направленные на повышение качества жизни населения, устойчивое развитие и эффективное управление городскими ресурсами. Особое внимание уделено стандартам умных городов и роли когнитивно-информационных технологий в обеспечении интеллектуальной инфраструктуры. Приведены примеры практических приложений когнитивных систем в городском управлении, транспорте, экологии и безопасности.

Ключевые слова: умный город, когнитивные технологии, информационные системы, стандарты, искусственный интеллект, цифровизация, устойчивое развитие

COGNITIVE INFORMATION TECHNOLOGIES – THE BASIS OF SMART CITIES

Danil V. Kolesnikov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

den71997@gmail.com

Abstract. The article discusses modern approaches to building the concept of a smart city (Smart City), aimed at improving the quality of life for the population, sustainable development, and effective management of urban resources. Special attention is paid to the standards of smart cities and the role of cognitive information technologies in providing an intelligent infrastructure. Examples of practical applications of cognitive systems in urban management, transport, ecology and safety are given.

Keywords: smart city, cognitive technologies, information systems, standards, artificial intelligence, digitalization, sustainable development

Понятие «умный город» (Smart City) представляет собой интеграцию цифровых, коммуникационных и когнитивных технологий для эффективного управления городской инфраструктурой и услугами. Развитие концепции Smart City обусловлено необходимостью решения таких проблем, как рост населения, урбанизация, дефицит ресурсов и экологические вызовы.

Современные стандарты умных городов направлены на обеспечение совместимости систем, повышение прозрачности управления и формирование единой цифровой среды.

1. Стандартизация умных городов

Одним из ключевых направлений развития является создание и внедрение международных и национальных стандартов. Среди наиболее значимых документов можно выделить

ISO 37120:2018 – «Устойчивое развитие сообществ. Показатели городских услуг и качества жизни» [1];

ISO 37122:2019 – «Показатели умных городов» [2];

ISO 37123:2019 – «Показатели устойчивых городов, готовых к кризисам» [3];

ГОСТ Р 57100-2016 – «Инфраструктура умного города. Общие положения» [4].

Стандартизация обеспечивает унификацию данных, совместимость платформ и прозрачность цифровых экосистем.

2. Когнитивно-информационные технологии в умных городах

Когнитивно-информационные технологии (КИТ) объединяют искусственный интеллект, машинное обучение, обработку больших данных (Big Data), анализ естественного языка и системы поддержки принятия решений [5, 6].

Они позволяют создавать адаптивные, самообучающиеся системы, которые:

- анализируют поведение пользователей;
- прогнозируют транспортные потоки;
- управляют энергопотреблением;
- повышают эффективность муниципальных служб.

Примером является использование **когнитивных платформ IBM Watson, Huawei City Brain, СберАналитика** для анализа потоков данных в реальном времени.

3. Приложения когнитивных технологий в умных городах

3.1. Транспорт и мобильность.

Системы интеллектуального транспорта (ITS) используют ИИ для регулирования светофоров, мониторинга трафика и оптимизации маршрутов [5, 4].

3.2. Экологический мониторинг.

Когнитивные сенсорные сети отслеживают уровень загрязнения воздуха, воды и шумового загрязнения, передавая данные в городские аналитические центры.

3.3. Безопасность и управление чрезвычайными ситуациями.

ИИ помогает анализировать видеопотоки, прогнозировать угрозы и координировать действия экстренных служб.

3.4. Городское управление.

Платформы на основе когнитивных технологий применяются для анализа обращений граждан, оптимизации бюджетных расходов и планирования городской инфраструктуры [7].

4. Перспективы и вызовы

Основными вызовами для внедрения когнитивных технологий являются:

- защита персональных данных и кибербезопасность;
- высокая стоимость внедрения;
- необходимость подготовки квалифицированных кадров;
- обеспечение совместимости между системами разных производителей.

В перспективе ожидается развитие **гибридных цифрово-физических систем**, где ИИ будет интегрирован во все уровни городской инфраструктуры, обеспечивая «когнитивную экосистему» города.

Когнитивно-информационные технологии становятся основой интеллектуального управления городами. Их внедрение способствует устойчивому развитию, повышению эффективности городских служб и улучшению качества жизни граждан. Разработка и соблюдение международных стандартов является ключевым условием успешной реализации концепции «умного города» [6, 7].

Список литературы

1. ISO 37120:2018. Sustainable cities and communities – Indicators for city services and quality of life. Geneva : ISO, 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/68498.html> (дата обращения: 01.10.2025).
2. ISO 37122:2019. Sustainable cities and communities Indicators for smart cities. Geneva : ISO, 2019. URL: <https://www.iso.org/standard/69050.html> (дата обращения: 02.10.2025).
3. ГОСТ Р 57100–2016. Инфраструктура умного города. Общие положения. М. : Стандартинформ, 2016. 22 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139252> (дата обращения: 04.10.2025).
4. Kitchin R. The Real-Time City? Big Data and Smart Urbanism // GeoJournal. 2014. Vol. 79, № 1. P. 1–14. doi: 10.1007/s10708-013-9516-8
5. IBM. Watson IoT for Smart Cities. URL: <https://www.ibm.com/watson-iot> (дата обращения: 04.10.2025).
6. Nam T., Pardo T. Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions // Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference. New York : ACM, 2011. P. 282–291. doi: 10.1145/2037556.2037602
7. Синицын В. В., Козлова Е. Г. Интеллектуальные города и цифровая трансформация управления. М. : ИНФРА-М, 2023. 312 с.

АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сергей Александрович Крупа

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

krupasergey@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются практические аспекты внедрения и администрирования цифровых технологий в промышленности. Показано, что цифровизация перестала быть трендом и стала ключевым условием повышения эффективности производства. Отмечены проблемы совместимости оборудования, дефицита квалифицированных кадров и кибербезопасности. Подчеркнута роль администратора цифровых систем как связующего звена между технологией и управлением.

Ключевые слова: цифровизация, промышленность, администрирование, кибербезопасность, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей

ADMINISTRATION AND IMPLEMENTATION OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES IN INDUSTRY

Sergey A. Krupa

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

krupasergey@gmail.com

Abstract. The article examines the practical aspects of implementing and administering digital technologies in industry. It is shown that digitalization has ceased to be a trend and has become a key factor in increasing production efficiency. The problems of equipment compatibility, shortage of qualified personnel, and cybersecurity are noted. The role of the digital systems administrator as a link between technology and management is emphasized.

Keywords: digitalization, industry, administration, cybersecurity, artificial intelligence, industrial Internet of Things

Современная промышленность переживает масштабные изменения, вызванные цифровой трансформацией. Использование искусственного интеллекта, цифровых двойников и промышлен-

ного Интернета вещей (IIoT) становится неотъемлемой частью производственных процессов, обеспечивая их гибкость и прозрачность. Цифровизация требует не только внедрения новых технологий, но и перестройки управленческих и организационных структур предприятий, что делает проблему администрирования цифровых систем особенно актуальной. Цель исследования заключается в определении ключевых аспектов внедрения и сопровождения цифровых технологий, а также в анализе компетенций специалистов, обеспечивающих устойчивость цифровых инфраструктур.

В большом количестве работ отмечается направленность цифровизации промышленных предприятий на повышение эффективности и управляемости производственных процессов: применение компьютерных технологий позволяют снижать влияние человеческого фактора и оптимизировать издержки, однако без системной интеграции эффект существует кратковременно [1, 2]; необходим комплексный подход к цифровизации производственных процессов, включающий нормативное обеспечение и подготовку кадров [3]; цифровая трансформация должна основываться на внедрении промышленного Интернета вещей, обеспечивающего прозрачность процессов, но существуют риски несовместимости оборудования и угрозы кибербезопасности [4]; целесообразно объединение искусственного интеллекта, Интернета вещей и аддитивных технологий для обеспечения промышленного роста [5, 6]; использование цифровых двойников, позволяет прогнозировать поломки и повышать надёжность оборудования [7]. Таким образом, цифровизация становится ключевым направлением развития промышленности, однако её успешное внедрение требует грамотного администрирования и управленческой координации.

Практическое внедрение цифровых технологий в промышленности обычно проходит три последовательных этапа. На аналитическом этапе проводится аудит процессов и инфраструктуры, выявляются зоны с наибольшим эффектом от автоматизации, а также оценивается готовность персонала к цифровым изменениям. Интеграционный этап предполагает подбор и адаптацию решений – от IIoT до цифровых двойников – с учётом совместимости оборудования и программного обеспечения. На этапе сопровождения осуществляется администрирование систем, контроль безопасности, резервное копирование данных, а также обучение сотрудников и развитие их цифровых компетенций. Такой системный подход

позволяет не только внедрить новые технологии, но и обеспечить их стабильное функционирование в долгосрочной перспективе.

Важнейшую роль в этом процессе играет администратор цифровых систем. Он становится связующим звеном между технологической и управленческой частями предприятия, обеспечивая стабильность инфраструктуры, безопасность данных и согласованность работы всех подразделений. Современный администратор сочетает технические и управленческие компетенции: знание промышленных сетей, баз данных, платформ искусственного интеллекта, облачных решений и принципов кибербезопасности. Без такого специалиста даже самые передовые технологии не способны обеспечить стабильный рост эффективности, поскольку нарушается согласованность процессов и теряется контроль над цифровой инфраструктурой.

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, предприятия сталкиваются с рядом проблем: интеграционные барьеры, вызванные несовместимостью нового оборудования со старыми системами [4]; кадровый дефицит, проявляющийся в нехватке специалистов, сочетающих инженерные и цифровые компетенции [3]; финансовые ограничения, связанные с высокими затратами на оборудование, лицензии и обучение; рост числа киберугроз и уязвимостей [6] и др. Дополнительным фактором остаётся человеческое сопротивление изменениям, выражающееся в недоверии к автоматизированным системам и нежелании осваивать новые инструменты. Всё это требует системного управления, поддержки руководства и постоянного повышения квалификации персонала.

Перспективы цифровизации промышленности связаны с формированием единой экосистемы, объединяющей данные, оборудование и программные решения. Развитие киберфизических систем, искусственного интеллекта и цифровых двойников [5, 7] открывает путь к более глубокому взаимодействию человека и технологий. Концепция Индустрии 5.0 предполагает не вытеснение человека из производственного процесса, а его сотрудничество с интеллектуальными машинами, где технологии усиливают человеческий потенциал, а не заменяют его.

Таким образом, цифровая трансформация промышленности становится неотъемлемым условием повышения конкурентоспособности предприятий. Её успех определяется не только уровнем технологий, но и качеством администрирования, обеспечиваю-

щего безопасность, устойчивость и интеграцию цифровых решений в производственные процессы. Ключевыми факторами эффективности внедрения современных компьютерных технологий остаются системный подход, межотраслевое взаимодействие и инвестиции в человеческий капитал.

Список литературы

1. Мусаева Дж., Мыратлыев А., Бердиев М., Байрамов И. Роль компьютерных технологий в автоматизации производственных процессов // Наука и мировоззрение. 2025. № 32. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-kompyuternyh-tehnologiy-v-avtomatizatsii-proizvodstvennyh-protssesov> (дата обращения: 27.09.2025).

2. Мусаева Дж., Човдыров О., Гаррыев О., Джораев Р. Роль компьютерных технологий в улучшении производственных процессов // Наука и мировоззрение. 2025. № 44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-kompyuternyh-tehnologiy-v-uluchshenii-proizvodstvennyh-protssesov> (дата обращения: 27.09.2025).

3. Сухарев О. С. Цифровизация и направления технологического обновления промышленности России // Journal of new economy. 2021. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-i-napravleniya-tehnologicheskogo-obnovleniya-promyshlennosti-rossii> (дата обращения: 27.09.2025).

4. Толкачев С. А., Михайлова П. Ю., Нартова Е. Н. Цифровая трансформация производства на основе промышленного интернета вещей // Экономическое возрождение России. 2017. № 3 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-proizvodstva-na-osnove-promyshlennogo-interneta-veschey> (дата обращения: 27.09.2025).

5. Сундюкова Е. В. Анализ развития и использования промышленного интернета вещей в облачном и интеллектуальном аддитивном производстве // Экономика и качество систем связи. 2023. № 3 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-razvitiya-i-ispolzovaniya-promyshlennogo-interneta-veschey-v-oblachnom-i-intellektualnom-additivnom-proizvodstvah> (дата обращения: 27.09.2025).

6. Хонтураев С. И. Искусственный интернет и интернет вещей // Universum: технические науки. 2023. № 12-2 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-i-internet-veschey> (дата обращения: 27.09.2025).

7. Денисов С. Г. Расширение сферы применения цифровых двойников // Бюллетень инновационных технологий. 2024. № 4 (32). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rasshirenie-sfery-primeneniya-tsifrovyh-dvoynikov> (дата обращения: 27.09.2025).

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПЦИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ АНТИФРОД-СИСТЕМЫ

Дмитрий Сергеевич Лобков¹,
Алексей Анатольевич Масленников²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹po4emy4ka90@gmail.com

²almas@rambler.ru

Аннотация. Исследуются основные предпосылки для разработки концепции аналитической информационной системы, способствующей эффективному выявлению и предотвращению мошеннических операций в банковском секторе. Описаны современные подходы к борьбе с финансовыми преступлениями, ключевые угрозы и механизмы их нейтрализации. Приведены примеры практических решений, реализованных ведущими российскими банками.

Ключевые слова: мошенничество в банковской сфере, защита от финансового мошенничества, антифрод-система

PREREQUISITES FOR DEVELOPING A CONCEPT OF AN ANALYTICAL INFORMATION ANTI-FRAUD SYSTEM

Dmitry S. Lobkov¹, Aleksey A. Maslennikov²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹po4emy4ka90@gmail.com

²almas@rambler.ru

Abstract. This article examines the key prerequisites for developing a concept for an analytical information system that facilitates the effective detection and prevention of fraudulent transactions in the banking sector. It describes modern approaches to combating financial crime, key threats, and mechanisms for mitigating them. Examples of practical solutions implemented by leading Russian banks are provided.

Keywords: banking fraud, protection against financial fraud, anti-fraud system

Современная банковская сфера постоянно сталкивается с новыми формами и видами мошенничества, которые наносят существенный экономический ущерб как частным лицам, так и самому бизнесу. Одной из главных проблем, препятствующих развитию цифровой экономики и повышению доверия к электронным услугам, являются мошеннические транзакции. Потеря средств и репутационные риски ставят перед банками задачу разработки эффективных современных подходов к защите клиентов и собственных активов. Развитие электронных платежей и безналичных расчетов значительно увеличивает число потенциальных точек воздействия мошенников. Традиционные методы борьбы с подобными угрозами оказываются недостаточными ввиду быстрой эволюции мошеннических схем. Повышается потребность в создании универсальных, интеллектуальных и интегрируемых систем антифрод-защиты, способствующих быстрому выявлению и устранению рисков мошенничества. В связи с этим задача разработки концепции аналитической информационной антифрод-системы приобретает особую значимость и практическую ценность. Решение задачи основано на комплексном изучении существующих подходов, технологий и инструментов для противостояния современным угрозам в финансовой сфере. Теория антифрод-систем строится на комбинации достижений в области информатики, математики и права. Необходимым условием успеха является использование глубоких методов анализа данных и понимание закономерностей мошеннической активности. Основой теории являются принципы Big Data, Machine Learning и биометрической идентификации [1].

Основные виды мошенничества в банковской сфере

Современный банковский сектор подвержен множеству рисков, связанных с незаконными действиями злоумышленников. Среди наиболее распространенных форм мошенничества можно выделить следующие:

1. Финансовое мошенничество путем манипуляции механизмом самозапрета на получение кредита.

Один из распространенных способов незаконного обогащения заключается в подделке документов и манипулировании кредитными рейтингами клиентов, позволяющими получать займы на условиях завышенных сумм и минимальных процентных ставок.

2. Схема обмана с «перерасчетом пенсии».

Преступники рассылают уведомления пенсионерам о якобы ошибочном начислении пенсионных выплат, убеждая перевести средства обратно банку либо инвестировать их в сомнительные финансовые структуры [2].

3. Взлом интернет-банкинга.

Данный вид преступлений включает несанкционированный доступ к онлайн-сервисам банковских счетов пользователей путем взлома паролей, кражи конфиденциальных данных и последующих хищений денежных средств.

4. Схема обмана о продаже несуществующих товаров или услуг.

Мошенники создают фальшивые веб-сайты, имитирующие торговые площадки известных брендов, заманивая покупателей ложными скидками и низкими ценами, но не доставляя товар после оплаты.

Основные схемы мошенничества с платежами и переводами

Среди прочих вредоносных схем распространены также следующие схемы:

1. Фишинг и социальная инженерия. Подозрительные письма и звонки с целью получения персональных данных.

2. Подделка платежных карт и скимминг. Копирование магнитных полос и PIN-кодов пластиковых карт.

3. Перехват SMS-кодов и подмена SIM-карт. Похищение одноразовых кодов подтверждения транзакций [3].

4. Массированные автоматические атаки. Компьютерные программы для массового сканирования уязвимых аккаунтов.

5. Мошенничество при снятии наличных через банкоматы. Установка поддельных считывающих устройств и модификация терминалов.

Требования законодательства по противодействию мошенничеству

В рамках российского законодательства действует ряд нормативных актов, регулирующих меры борьбы с мошенничеством в финансовой сфере. Центральный Банк РФ разработал рекомен-

дации по защите клиентских счетов и обеспечению безопасности электронных финансовых сервисов.

Можно выделить следующие основные нормативно-правовые акты в области противодействия мошенничеству в финансовой сфере [4].

1. Федеральный закон № 161-ФЗ «О национальной платежной системе». Этот закон устанавливает правовые основы функционирования национальной платежной системы, регулирует порядок оказания платежных услуг, в том числе переводы денежных средств, и определяет обязанности операторов по информированию клиентов о мерах безопасности.

2. Федеральный закон № 115-ФЗ «О противодействии легализации доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма». Закон обязывает кредитные организации проводить процедуры идентификации клиентов и отчетности по подозрительным операциям.

3. Постановление Правительства РФ № 353 «Об утверждении Правил предоставления потребительских кредитов (займов)». Регламентирует отношения, связанные с выдачей кредитов населению, вводит обязательные требования к порядку заключения договоров и правилам оформления заявлений заемщиками.

4. Положения Центрального Банка РФ (например, Положение № 382-П). Устанавливают стандарты и нормы внутреннего контроля в кредитных организациях, направленные на предотвращение мошенничества и соблюдение норм противодействия отмыванию денег и финансированию терроризма.

Эти нормативные акты совместно формируют правовую основу для эффективных мер защиты интересов клиентов и противодействия незаконным действиям в финансовой сфере [5].

Практические инструменты защиты

Для эффективной борьбы с мошенничеством современные банки внедряют комплекс мер и инструментов, среди которых особое значение имеют современные технологии и методы противодействия мошенническим переводам и платежам. Принимая во внимание необходимость быстрого реагирования на возникающие риски, банковские учреждения активно используют следующие передовые подходы:

- мониторинг и анализ транзакционной активности;

- статистический анализ и выявление аномалий в поведении пользователей;
- машинное обучение и нейронные сети для построения предиктивных моделей поведения клиентов;
- правила и фильтры, позволяющие автоматически отклонять подозрительные операции;
- обработка больших объемов данных с использованием специализированных платформ Big Data;
- нейроинформатика и Deep Learning для интеллектуального анализа данных;
- предсказательная аналитика, основанная на анализе поведенческих паттернов;
- биометрическая идентификация, включающая голосовую и визуальную верификацию;
- мультисессионная аутентификация, обеспечивающая дополнительную защиту благодаря применению многоуровневых процедур идентификации клиента.

Одним из перспективных направлений является внедрение биометрических технологий идентификации пользователей, позволяющих существенно повысить уровень защищенности финансового сектора. Наиболее распространенные разновидности биометрических технологий [6]:

- отпечатки пальцев;
- распознавание лица;
- голосовая идентификация;
- подпись рукописью;
- идентификация сетчатки глаза;
- геновая диагностика.

Примеры практических решений

Российский рынок постоянно пополняется новыми инструментами и сервисами, направленными на предотвращение фрода. Рассмотрим кратко основные существующие российские антифрод-системы и принципы их работы.

1. Антифрод-платформа Сбербанка.

Система реализует принцип комплексного мониторинга всех действий пользователей и детектирует потенциально опасные транзакции в режиме реального времени. Она основана на

широком спектре инструментов, включая обработку больших данных и нейронные сети. Центральным элементом системы являются алгоритмы машинного обучения, обрабатывающие большие объемы данных для выявления потенциальных атак. Архитектура состоит из трех слоев: сбор данных, моделирование риска и принятие решений. Алгоритмы автоматически обнаруживают отклонения от нормального профиля клиента, немедленно реагируя на любые подозрительные действия. Благодаря своей гибкости и масштабируемости, система способна эффективно адаптироваться к новым видам мошенничества [7].

2. Альфа-Банк Fraud Prevention System.

Система обеспечивает постоянный контроль над всеми операциями и позволяет оперативно реагировать на попытки совершения мошеннических сделок. Реализуется через интеграцию с корпоративными системами управления рисками. Основа эффективности заключается в специально разработанных модулях AI, основанных на моделях Deep Learning, предназначенных для классификации рисков и прогнозирования возможного ущерба [8].

3. ФродМониторинг ВТБ.

Платформа предназначена для оперативного обнаружения попыток осуществления нелегитимных транзакций и минимизации потерь клиентов. Комплексная система контроля отслеживает каждое действие пользователя в системе интернет-банкинга и мобильном приложении, проводя сравнительный анализ текущих операций с профилем владельца счета. Наиболее значимым компонентом является модуль «Fraud Detection», использующий Advanced Predictive Analytics и правила фильтрации подозрительных транзакций [9].

4. Антифрод система Т-Банка.

Система использует передовые механизмы предотвращения мошенничества, позволяя своевременно пресекать потенциальные нарушения и минимизировать убытки клиентов. Технология обеспечивает высокий уровень безопасности, включая управление риском транзакций и обеспечение надежной защиты против массовых атак.

Рассмотренные аспекты противодействия мошенническим транзакциям в банковской сфере служат предпосылками для разработки концепции информационной аналитической антифрод-системы. Применение такой системы позволит эффективно

бороться с описанными ключевыми угрозами при помощи современных инструментов и технологий. Использование антифрод-системы должно сопровождаться непрерывным развитием технических возможностей и повышением уровня осведомленности сотрудников банков относительно новейших методик защиты активов и клиентской базы. Для успешного противостояния мошенническим схемам необходим межотраслевой подход, сочетающий законодательные инициативы, повышение квалификации персонала и применение высоких технологий [10].

Список литературы

1. Сергеев Ю. С. Информационно-аналитические системы мониторинга банковских транзакций // Вестник МГУ. Сер. Экономика. 2022. № 4. С. 34–42.
2. Мельникова Е. В. Новые формы мошенничества в электронной коммерции // Финансовый вестник. 2023. № 1. С. 15–20.
3. Сидоров Н. Н. Тенденции мошенничества в банковских операциях // Деньги и кредит. 2023. № 2. С. 23–30.
4. О национальной платежной системе : федер. закон № 161-ФЗ от 27.06.2011 // Официальный сайт Госдумы.
5. Руководство по антифрод мониторингу ЦБ РФ // Сайт ЦБ РФ. 2022.
6. Моргунов В. Л. Применение биометрии в банковской практике // Журнал финансовой аналитики. 2023. № 1. С. 78-85.
7. Сбербанковская практика антифрод мониторинга : доклад ПАО Сбербанк. 2022. С. 123.
8. Практика антифрод мониторинга в Альфа-Банке : доклад Альфа-Банка. 2023. С. 45.
9. Антифрод мониторинг ВТБ : доклад ВТБ. 2023. Гл. III.
10. Новикова А. Ю. Стандартизация систем безопасности в банковской сфере // Управление качеством. 2022. Глава IV.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ ГАРМОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ РЕЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

Ольга Владимировна Мельник¹, Сергей Игоревич Бабаев²,
Михаил Николаевич Сараев³

*^{1,2,3}Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В. Ф. Уткина, г. Рязань, Россия*

¹omela111@yandex.ru

²babaev.s.i@gmail.com

³mixailr@mail.ru

Аннотация. Выполнен количественный анализ классических акустических дескрипторов гармонической структуры речи (F_0 , HNR, Jitter, Shimmer, форманты, кепстральные коэффициенты) для автоматической оценки состояния «нейтральное – стресс» на корпусе записей с извлечением признаков средствами Parselmouth, Librosa, PhyCharm, iZotope. Статистическое сравнение (p -value, Cohen's d) выявило гендерно-специфичные изменения: у мужчин – источникные (F_0 , Shimmer) и спектральные сдвиги, у женщин – преимущественно формантно-кепстральные изменения. На основе полученных результатов предлагаются рекомендации по селекции признаков для объяснимых детекторов стресса.

Ключевые слова: гармоника речи, анализ отношения «гармоника/шум», оценка основной частоты тона, джиттер, шиммер, спектральный анализ, формантный анализ, кепстральный анализ, оценка эмоций, стресс, статистический анализ

STATISTICAL ANALYSIS OF ACOUSTIC DESCRIPTORS OF THE HARMONIC STRUCTURE OF SPEECH FOR ASSESSING EMOTIONAL STATE

Olga V. Melnik¹, Sergey I. Babaev², Michael N. Saraev³

*^{1,2,3}Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Ryazan, Russia*

¹omela111@yandex.ru

²babaev.s.i@gmail.com

³mixailr@mail.ru

Abstract. A quantitative analysis of classical acoustic descriptors of speech harmonic structure (F_0 , HNR, Jitter, Shimmer, formants, cepstral coefficients) for

automatic assessment of neutral-stress states was performed on a corpus of recordings with feature extraction using Parselmouth, Librosa, PhyCharm, and iZotope. Statistical comparison (*p*-value, Cohen's *d*) revealed gender-specific changes: in men, source (F_0 , Shimmer) and spectral shifts, while in women, primarily formant-cepstral changes were observed. The obtained results offer recommendations for feature selection for explainable stress detectors.

Keywords: speech harmonics, harmonic-noise ratio method, fundamental frequency estimation, jitter, shimmer, Spectral analysis, formant analysis, cepstral analysis, emotion assessment, stress, statistical analysis

Цель исследования – оценить информативность классических акустических дескрипторов гармонической структуры речи для дифференциации нейтрального и стрессового эмоциональных состояний, выработать рекомендации по селекции признаков с учетом пола говорящего. Для этого собран и размечен корпус аудиоданных, выполнена предобработка (удаление пауз и шумов, нормализация RMS, выравнивание длительности), извлечены признаки средствами Parselmouth, Librosa, PhyCharm и iZotope, далее проведен статистический анализ по подвыборкам (расчет *p*-value и Cohen's *d*) и интерпретация результатов с формулировкой практических рекомендаций для объяснимых детекторов стресса.

Акустическая оценка эмоционального состояния речи – междисциплинарная задача, важная для клинической диагностики, телемедицины и человеко-машинного взаимодействия. Классические дескрипторы гармонической структуры голоса (F_0 , HNR, Jitter, Shimmer, форманты, кепстральные коэффициенты) дают физиологически интерпретируемые маркеры, дополняя современные методы машинного обучения требованием объяснимости [1]. Методы расчета и интерпретации Jitter/Shimmer и HNR подробно рассмотрены в обзорах по паралингвистике [2]; спектральные и кепстральные характеристики в контексте распознавания эмоций – в работах по MFCC и модуляционным признакам [3]. В настоящем исследовании проведен количественный статистический анализ информативности признаков при различении эмоциональных состояний (*neutral* – *stress*) для мужских и женских голосов.

Методы и данные

Набор данных состоит из 264 аудиофайлов: 17 эталонных записей (10 мужчин, 7 женщин) – короткие фразы с выраженной эмоциональной окраской (стресс/волнение), взятые из открытых

источников, и 247 нейтральных записей, в которых те же 17 фраз произнесены в спокойном состоянии другими участниками (10 мужчин, 6 женщин). Все файлы в формате WAV (16-bit, 22 050 Гц), длительность 3-6 с; каждая запись помечена как «stress» либо «neutral». Перед извлечением признаков все аудиофайлы прошли единый конвейер предобработки: нормализация RMS-уровня (PhyCharm) и выравнивание длительности к диапазону 3–6 с (iZotope).

Результаты

В табл. 1–2 приведены описательные статистики и результаты проверки статистических гипотез по выбранному набору акустических признаков (F_0 , HNR, Jitter, Shimmer, F_1 – F_4 , MFCC₀–MFCC₄) для двух эмоциональных состояний (нейтральное и стрессовое) и для двух подгрупп дикторов (мужчины и женщины). В таблицах приведены: среднее (*mean*), медиана (*median*), стандартное отклонение (*std*), *p*-уровень значимости (*p*-value) и стандартизированная величина эффекта (Cohen's *d*).

Таблица 1

Сравнительный анализ акустических параметров речи мужчин в нейтральном и стрессовом состоянии

Мужчины								
Акустическая характеристика (mean)	Метрики описательной статистики						Метрики тестов	
	mean		median		std		p-value	Cohen's d
	neutral	stress	neutral	stress	neutral	stress		
F_0 (Гц)	150,67	119,08	142,55	114,11	42,52	29,19	7,83E-03	0,75
HNR (дБ)	7,66	6,93	7,70	6,31	2,13	3,18	4,91E-01	0,33
Jitter (local, %)	3,29	2,76	2,83	2,73	1,96	0,99	1,50E-01	0,28
Shimmer (local, %)	27,86	21,28	26,42	20,89	7,00	2,07	3,72E-08	0,97
Formant ₁ (Гц)	529,18	712,61	524,80	612,97	44,43	215,55	2,48E-02	–2,71
Formant ₂ (Гц)	1501,32	1794,81	1507,99	1749,34	113,53	212,22	1,74E-03	–2,41
Formant ₃ (Гц)	2459,00	2904,55	2443,94	2832,99	91,16	238,10	2,15E-04	–4,22
Formant ₄ (Гц)	3494,42	3957,25	3484,05	3892,14	110,85	297,16	8,00E-04	–3,58
MFCC ₀ (Лог. энергия)	–474,81	–453,72	–473,76	–463,06	25,64	55,01	2,59E-01	–0,75
MFCC ₁ (Лог. энергия)	187,80	141,44	187,73	140,31	10,53	21,74	7,70E-05	4,03
MFCC ₂ (Лог. энергия)	–13,15	–3,40	–12,91	–9,30	11,11	23,04	2,16E-01	–0,80
MFCC ₃ (Лог. энергия)	6,73	41,27	5,65	42,95	12,12	9,94	4,93E-07	–2,88
MFCC ₄ (Лог. энергия)	4,04	–3,94	4,11	0,38	7,18	16,00	1,51E-01	1,00

В соответствии с данными для мужчин из таблицы 1 наблюдается значимое снижение F_0 ($p = 7,83E - 03$, $d \approx 0,75$) и выраженное уменьшение Shimmer ($p < 0,001$, $d \approx 0,97$). Форманты (F_1 – F_4) и кепстральные коэффициенты ($MFCC_1$, $MFCC_3$) демонстрируют значимые сдвиги при стрессе ($p = 7,70E-05$ и $4,93E-07$; $|d| > 2$). Параметры HNR и Jitter не показали достоверных различий ($p > 0,05$).

В соответствии с данными для женщин из табл. 2 значимые сдвиги отмечены в высших формантах (F_3 – F_4 , $p \leq 0,005$) и в кепстральных коэффициентах ($MFCC_1$, $MFCC_3$, $MFCC_4$: p от 0,002 до 0,018) с крупными эффектами. F_0 , HNR, Jitter и Shimmer в целом статистически незначимы.

Таблица 2

Сравнительный анализ акустических параметров речи женщин в нейтральном и стрессовом состоянии

Женщины								
Акустическая характеристика (mean)	Метрики описательной статистики (mean)						Метрики тестов	
	mean		median		std		p-value	Cohen's d
	neutral	stress	neutral	stress	neutral	stress		
F_0 (Гц)	209,10	224,70	209,48	200,03	28,27	58,62	5,10E-01	-0,507
HNR (дБ)	11,19	10,08	11,28	9,34	2,67	3,91	4,87E-01	0,402
Jitter (local, %)	2,69	3,65	2,22	4,02	1,56	1,88	2,35E-01	-0,604
Shimmer (local, %)	25,62	22,95	25,14	21,42	5,58	9,22	4,76E-01	0,458
Formant ₁ (Гц)	578,70	579,57	576,75	546,55	65,38	100,91	9,83E-01	-0,013
Formant ₂ (Гц)	1592,14	1658,12	1573,19	1652,29	131,74	152,14	3,02E-01	-0,496
Formant ₃ (Гц)	2566,25	2783,79	2553,39	2710,20	129,64	134,66	4,63E-03	-1,674
Formant ₄ (Гц)	3682,59	4021,95	3664,34	4018,07	208,21	119,16	8,52E-05	-1,662
MFCC ₀ (Лог. энергия)	-492,21	-456,75	-487,03	-435,49	27,44	55,36	1,42E-01	-1,194
MFCC ₁ (Лог. энергия)	160,83	127,97	162,47	122,54	12,85	17,56	2,30E-03	2,497
MFCC ₂ (Лог. энергия)	-16,90	-1,78	-17,29	-0,58	11,11	18,52	7,47E-02	-1,298
MFCC ₃ (Лог. энергия)	3,46	27,37	3,33	26,66	9,71	15,23	5,68E-03	-2,367
MFCC ₄ (Лог. энергия)	-2,46	-14,93	-1,86	-13,84	6,04	10,31	1,83E-02	1,961

Заключение

В выборке спектрально-формантные признаки являются наиболее надежными маркерами стресса и демонстрируют статистически значимые сдвиги p -value и большие величины эффекта Cohen's d .

Для мужчин обнаружены выраженные изменения как источниковых, так и резонансно-спектральных параметров: F_0 существенно снижается, Shimmer значимо уменьшается, одновременно наблюдается повышение формант и значимые изменения кепстральных коэффициентов (MFCC₁, MFCC₃). Это указывает на комплексную перестройку голоса при стрессе в мужской выборке [2, 3].

Для женщин изменения носят преимущественно спектрально-формантный характер: высшие форманты (F_3 , F_4) и кепстральные коэффициенты (MFCC₁, MFCC₃, MFCC₄) показывают статистически значимые сдвиги с крупными эффектами, тогда как F_0 , HNR, Jitter и Shimmer в целом незначимы.

Параметры HNR и Jitter не выявили достоверных различий между состояниями в обеих подгруппах ($p > 0,05$), что ограничивает их полезность как одиночных маркеров стресса в данной выборке [2].

Практическая рекомендация: для построения объяснимых детекторов стресса в первую очередь следует учитывать формантно-кепстральные признаки (F_1 – F_4 , MFCC₀–MFCC₄) и, при работе с мужскими голосами, дополнительно включать источникивые параметры (F_0 , Shimmer). Отбор признаков целесообразно опирать на величины эффекта (d) и повторную проверку на независимом наборе данных [1, 4–6].

Список литературы

1. Алимуратов А. К., Чураков П. П. Обзор и классификация методов обработки речевых сигналов в системах распознавания речи // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2015. № 2 (12). С. 27–35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-klassifikatsiya-metodov-obrabotki-rechevyh-signalov-v-sistemah-raspoznavaniya-rechi> (дата обращения: 20.08.2025).
2. Koffi E. A comprehensive review of jitter, shimmer, and HNR: Linguistic and paralinguistic applications // Linguistic Portfolios. 2025. Vol. 14.

Art. 2. URL: <https://repository.stcloudstate.edu/ling/vol14/iss1/2> (дата обращения: 27.08.2025).

3. Singh P., Sahidullah M., Saha G. Modulation spectral features for speech emotion recognition using deep neural networks // *Speech Communication*. 2023. Vol. 146, № 16. P. 53–69. doi: 10.1016/j.specom.2022.10.003

4. Wang Q., Xu F., Wang X. [et al.]. How Anxiety State Influences Speech Parameters: A Network Analysis Study from a Real Stressed Scenario // *Behavioral Sciences*. 2025. Vol. 15, № 3. P. 262. doi: 10.3390/brain-sci15030262

5. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М. : Практика, 2016. 708 с.

6. Лебедева Н. Н., Каримова Е. Д. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека // *Успехи физиологических наук*. 2014. Т. 45, № 1. С. 57–95.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИСТЕМНОМУ АДМИНИСТРИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Артем Геннадьевич Мосиенко

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

mosart09rus@gmail.com

Аннотация. Рассматриваются современные подходы к системному администрированию информационных систем в условиях цифровой трансформации. Проанализированы тенденции автоматизации, внедрения облачных технологий и средств искусственного интеллекта. Отмечается рост требований к компетенциям администраторов, значимость DevOps-подходов и обеспечения информационной безопасности. Определены направления развития процессов администрирования, нацеленные на повышение устойчивости и эффективности информационных систем.

Ключевые слова: системный администратор, сетевое оборудование, администрирование сетей, сервер, цифровая трансформация, система, программное обеспечение, безопасность данных, DevOps

MODERN APPROACHES TO SYSTEM ADMINISTRATION OF INFORMATION SYSTEMS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Artem G. Mosienko

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

mosart09rus@gmail.com

Abstract. The article discusses modern approaches to system administration of information systems in the context of digital transformation. The trends of automation, the introduction of cloud technologies and artificial intelligence tools are analyzed. There is an increase in the requirements for the competencies of administrators, the importance of DevOps approaches and information security. The directions of development of administrative processes aimed at increasing the stability and efficiency of information systems have been identified.

Keywords: system administrator, network equipment, network administration, server, digital transformation, system, software, data security, DevOps

Современное общество характеризуется высокой степенью информатизации, что приводит к стремительному росту количества и сложности информационных систем. Управление этими системами требует не только технической подготовки, но и понимания процессов цифровой трансформации, затрагивающих все уровни бизнеса и науки. В результате системное администрирование перестает быть исключительно технической функцией и превращается в стратегический элемент обеспечения устойчивости и безопасности информационной инфраструктуры.

В последние годы наблюдается активное внедрение облачных технологий, виртуализации и распределенных вычислений, что расширяет функционал администратора. Одновременно возрастают риски, связанные с безопасностью данных, конфиденциальностью и отказоустойчивостью сервисов. В таких условиях актуализируется необходимость разработки новых подходов к системному администрированию, ориентированных на комплексное управление жизненным циклом ИС.

Целью настоящей работы является анализ современных тенденций в системном администрировании и определение направлений его развития в контексте цифровой трансформации.

Согласно А. С. Аброскину и М. В. [Гурьяновой 1], системный администратор в современных условиях должен обладать не только техническими навыками, но и компетенциями в области управления, коммуникации и обеспечения безопасности. В этом контексте администрирование рассматривается как многоуровневая деятельность, включающая анализ, планирование, настройку и оптимизацию инфраструктуры.

Е. С. Бондарев и А. Н. Гуцин [2] подчеркивают важность личностно-ориентированного подхода – способность администратора эффективно взаимодействовать с пользователями и коллективом, что особенно значимо в условиях распределенных команд и удаленного доступа. Этот аспект ранее часто игнорировался, однако современные исследования подтверждают, что человеческий фактор играет ключевую роль в предотвращении ошибок и сбоев.

И. Н. Тюкавкин [3, 4] рассматривает администрирование как часть общей теории организации информационных систем, где ключевым принципом является системность. Такой подход позволяет видеть администрирование не как изолированный процесс,

а как элемент общей экосистемы управления знаниями, ресурсами и технологиями.

Рассмотрим современные тенденции и проблемы системного администрирования. С развитием цифровых технологий меняются инструменты и технологии администрирования:

1. Автоматизация процессов. Использование средств автоматического развертывания и управления конфигурациями (Ansible, Puppet, Chef) позволяет снизить человеческий фактор и повысить стабильность работы систем. Администратор становится оператором автоматизированных сценариев, а не ручным исполнителем технических процедур.

2. Переход к облачным архитектурам. Внедрение облачных инфраструктур требует новых навыков, связанных с оркестрацией ресурсов, управлением контейнерами и обеспечением непрерывности сервисов. Как отмечается в [5], именно унификация и систематизация процессов управления позволяют добиться прозрачности и предсказуемости работы распределённых систем.

3. Интеграция DevOps-практик. Подход DevOps способствует сближению процессов разработки и эксплуатации, обеспечивая ускорение релизов и повышение надежности. Однако внедрение DevOps требует перестройки организационной культуры и новых стандартов взаимодействия.

4. Рост значимости кибербезопасности. Каждый элемент инфраструктуры становится потенциальной целью атаки. Задачи администратора всё чаще включают анализ журналов безопасности, управление доступом и внедрение средств обнаружения вторжений. Поэтому безопасность должна рассматриваться как неотъемлемая часть любой информационной системы [1].

5. Непрерывное обучение и сертификация. В [6] отмечается, что существует разрыв между образовательными программами и требованиями рынка. Для снижения этого разрыва необходимы адаптивные учебные курсы, отражающие актуальные тенденции и технологии.

Несмотря на высокую степень развития инструментов, остаются нерешёнными проблемы стандартизации и документирования процессов администрирования, а также вопросы интеграции систем мониторинга в единую среду управления.

Анализ цифровизации производственных процессов показывает, что современное системное администрирование всё более

приобретает черты интеллектуальной деятельности. В рамках цифровой экономики роль администратора расширяется до уровня аналитика и архитектора, который отвечает не только за техническую работоспособность, но и за стратегическую устойчивость инфраструктуры.

Важным направлением развития является концепция «умного администрирования», основанная на применении технологий искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения. Эти технологии позволяют прогнозировать сбои, автоматически распределять нагрузку и оптимизировать ресурсы в реальном времени.

Перспективным также является внедрение систем Self-Healing Infrastructure – самовосстанавливающихся инфраструктур, где администратор выполняет функции контролёра и аналитика. Такой подход снижает риски ошибок и минимизирует время простоя.

В то же время, как отмечают исследователи [2, 6, 7], переход к интеллектуализированным моделям администрирования требует нового уровня подготовки кадров. Это предполагает синтез знаний в области информационных технологий, менеджмента, психологии и кибербезопасности. Таким образом, системный администратор будущего – это мультидисциплинарный специалист.

Таким образом, проведённый анализ показал, что системное администрирование находится в стадии глубокой трансформации. Традиционные методы управления инфраструктурой уступают место интеллектуальным и автоматизированным подходам, основанным на интеграции облачных, DevOps- и AI-технологий. Основные вызовы современного этапа связаны с обеспечением безопасности, формированием новых компетенций у специалистов и разработкой универсальных стандартов администрирования.

Развитие системного администрирования должно идти в направлении создания адаптивных, саморегулирующихся инфраструктур, где ключевую роль играет не выполнение технических процедур, а анализ и прогнозирование поведения систем. Это позволит повысить надежность информационных систем, сократить издержки и обеспечить устойчивость цифровых процессов в долгосрочной перспективе.

Список литературы

1. Аброскин А. С., Гурьянова М. В. [и др.]. Навыки и обязанности системного администратора // Мировая наука. 2020. № 1 (34). URL: <https://>

cyberleninka.ru/article/n/navyki-i-obyazannosti-sistemnogo-administratora (дата обращения: 02.10.2025).

2. Бондарев Е. С., Гущин А. Н. [и др.]. Личностно-ориентированный подход в системном администрировании // Технические науки – от теории к практике. 2017. № 3 (63). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/lichnostno-orientirovannyy-podhod-v-sistemnom-administrirovanii> (дата обращения: 02.10.2025).

3. Тюкавкин И. Н. Теоретические основы информационных систем // Основы экономики, управления и права. 2012. № 4 (4). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoreticheskie-osnovy-informatsionnyh-sistem> (дата обращения: 03.10.2025).

4. Тюкавкин И. Н. Теория организации информационных систем // Economic Consultant. 2013. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-organizatsii-informatsionnyh-sistem> (дата обращения: 03.10.2025).

5. Цибизов П. Н. Систематизация задач сетевого администрирования образовательных ресурсов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2014. № 2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistematizatsiya-zadach-setevogo-administrirovaniya-obrazovatelnyh-resursov> (дата обращения: 03.10.2025).

6. Осадчий В. В., Шаров С. В. Проблема подготовки будущих администраторов баз данных к сертификации знаний и трудоустройству // Образовательные технологии и общество. 2015. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-podgotovki-buduschih-administratorov-baz-dannyh-k-sertifikatsii-znaniy-i-trudoustroystvu> (дата обращения: 02.10.2025).

7. Минитаева А. М. Исследование систем управления на основе информационных технологий // Омский научный вестник. 2005. № 1 (30). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sistem-upravleniya-na-osnove-informatsionnyh-tehnologiy> (дата обращения: 02.10.2025).

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ, АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Александр Евгеньевич Резван

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

srezvan@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ научных публикаций, посвященных развитию интернета вещей в условиях цифровой трансформации. Рассматриваются вопросы информационной безопасности, стандартизации протоколов и технологий связи, а также перспективы внедрения интернета вещей в различные сферы деятельности.

Ключевые слова: интернет вещей, информационная безопасность, нейронные сети, цифровая трансформация

INTERNET OF THINGS: CYBERSECURITY, BIG DATA ANALYTICS, NEURAL NETWORKS

Alexander E. Rezvan

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

srezvan@mail.ru

Abstract. An analysis of scientific publications devoted to the development of the Internet of Things in the context of digital transformation was conducted. Issues of information security, standardization of protocols and communication technologies, and prospects for the implementation of the Internet of Things in various fields are considered.

Keywords: Internet of Things, information security, neural networks, digital transformation

Развитие интернета вещей (IoT) в настоящее время сопровождается значительным ростом числа подключаемых устройств, что приводит к увеличению объемов передачи данных и повышению риска киберугроз. Современные протоколы, применяемые в IoT, часто используют достаточно простые механизмы защиты,

что делает системы уязвимыми к перехвату, подмене и разрушительным атакам. Поэтому в условиях цифровой трансформации именно информационная безопасность, стандартизация протоколов и надежность передачи данных становятся определяющими факторами успешного внедрения интернета вещей.

В [1] рассматривается одна из ключевых проблем развития интернета вещей – обеспечение информационной безопасности. Особое внимание уделяется уязвимостям, возникающим при интеграции IoT-устройств в единую сеть и построении систем на основе гетерогенных протоколов и стандартов. В систематизации угроз авторы выделяют перехват и подмену данных, внедрение вредоносного ПО, нарушение конфиденциальности и доступности сервисов, а также возможность проведения распределённых атак отказа в обслуживании (DDoS). Особое внимание уделяется слабым местам протоколов MQTT и CoAP, оптимизированным под низкую мощность устройств и высокую скорость обмена данными, но часто не использующих встроенные механизмы защиты. Поэтому необходимы комплексный подход к анализу рисков и адаптация классических методов защиты к условиям интернета вещей, а проектирование безопасности должно осуществляться на ранних этапах разработки IoT-систем. Это требует стандартизации отрасли и формирования единой нормативной базы, что позволит создавать более устойчивые и защищённые решения.

Авторы [2] рассматривают применение систем IoT с использованием нейронных сетей и технологии смыслового представления и обработки информации (OSTIS) в области телемедицины. Системы IoT позволят отслеживать динамику заболеваний в домашних условиях, что существенно снизит нагрузку на медицинские учреждения и сделает диагностику более доступной. Однако создание таких систем связано с рядом трудностей: обеспечение безопасности передачи медицинских данных, необходимость стандартизации протоколов передачи информации, сложность внедрения подобных систем в клиническую практику. Но авторы приходят к выводу, что развитие IoT в сочетании с интеллектуальными системами может кардинально изменить подходы к диагностике и лечению хронических заболеваний.

В [3] обсуждаются вопросы проектирования спутниковых систем связи типа 5G для реализации технологии интернета вещей в любых точках нашей планеты, особенно в труднодоступных

местах и слаборазвитых регионах. Интеграция IoT и 5G (на низкоорбитальных спутниках) открывает новые возможности для передачи больших объемов данных при минимальных задержках, что обеспечит высокую эффективность применения таких систем в сельском хозяйстве, мониторинге окружающей среды, транспортной логистике, энергетике и других отраслях народного хозяйства.

В исследовании [4] рассматривается вопрос интеграции технологий интернета вещей и анализа больших данных (Big Data). Такие системы с высокой эффективностью могут применяться в энергетике, в управлении городской инфраструктурой, транспортом и логистикой, в мониторинге экологической обстановки и других сферах.

В [5] рассматривается концепция устойчивого развития «умных городов» как комплексного явления, основанного на применении технологий интернета вещей и связанных с ними цифровых решений. Хотя использование интернета вещей способствует высокой эффективности функционирования и устойчивому развитию «умных городов», однако при создании таких систем разработчики часто сталкиваются с проблемами стандартизации и отсутствием унифицированной нормативной базы, а разнородность платформ и протоколов, используемых при реализации проектов, приводит к сложности интеграции и снижению эффективности взаимодействия систем.

В [6] особое внимание уделено обзору механизмов и инструментов, используемых в реализации концепции «умного города». Авторы систематизируют современные подходы к построению городской цифровой инфраструктуры и анализируют использование сенсорных сетей, беспроводных протоколов связи, облачных платформ и систем обработки больших данных. Отмечается, что именно сочетание IoT и Big Data формирует основу для эффективного управления городской средой, позволяя принимать своевременные решения на основе актуальной информации.

В [7] рассмотрены основные проблемы развития интернета вещей: отсутствие единых стандартов, уязвимость сетевых протоколов и необходимость адаптации средств защиты под особенности маломощных устройств. Авторы подробно рассматривают протоколы MQTT и CoAP, подчеркивая их эффективность для IoT,

но одновременно указывают на недостаточность встроенных механизмов безопасности.

Отдельное место занимает анализ методов тестирования систем, включая простые протоколы аутентификации, симметричное и асимметричное шифрование, а также архитектуры, ориентированные на сегментацию сетей и распределение ресурсов. Указывается, что существующие подходы нуждаются в адаптации к специфике IoT, так как традиционные методы защиты часто требуют значительных ресурсов. Авторы подчеркивают, что дальнейшее развитие интернета вещей невозможно без комплексного подхода, объединяющего технологические инновации, повышение уровня киберустойчивости и стандартизацию.

Таким образом, можно сделать вывод, что интернет вещей имеет огромный потенциал для медицины, энергетики, городской инфраструктуры, промышленности и коммуникационных систем, но его развитие обеспечивается не только технологическими инновациями, но и необходимостью решения системных задач, связанных с безопасностью, стандартизацией и интеграцией. Для этого необходимы:

- разработка устойчивых протоколов и механизмов защиты, так как уязвимости сетей и устройств создают угрозы безопасности и снижают доверие к технологиям;

- серьезная интеллектуальная обработка данных, интегрированная с методами машинного обучения и анализом больших данных, что открывает новые возможности для еще более широкого применения технологии интернета вещей в различных областях.

Список литературы

1. Таржанов Т. В., Новиков С. Н. Исследование угроз информационной безопасности в IoT и методов защиты от этих угроз // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 7, № 2. С. 184–189.

2. Вишняков В. А., Ся И. В. Система IoT для диагностики болезни Паркинсона с использованием нейронных сетей и OSTIS // Системный анализ и прикладная информатика. 2024. № 2. С. 52–60.

3. Щеглов Г. А., Таратонкина В. С. Оценка проектных параметров группировки информационных спутников IoT 5G // Инженерный журнал: наука и инновации. 2023. № 7.

4. Пальмов С. В., Лобова М. И. Эффективное использование больших данных для оптимизации управления городскими ресурсами

и повышения качества жизни // Индустриальная экономика. 2024. № 5. С. 189–195.

5. Матризаев Б. Д. Инновации, ориентированные на устойчивое развитие «умных городов»: ключевые проблемы и направления концептуального развития // Вестник Поволжского института управления. 2022. Т. 22, № 5. С. 23–34.

6. Шевченко Д. А. «Умный город»: обзор механизмов и инструментов // Практический маркетинг. 2024. № 10. С. 45–48.

7. Наралиев Н. А., Самаль Д. И. Обзор и анализ стандартов и протоколов в области Интернет вещей. Современные методы тестирования и проблемы информационной безопасности ИОТ // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 1. С. 71–79.

ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МУЗЫКАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Анастасия Александровна Салазкина

Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

nastsalz@gmail.com

Аннотация. Рекомендательные механизмы в цифровизации музыки эволюционировали от элементарных фильтров, основывающихся исключительно на истории воспроизведения треков, до продвинутых моделей глубокого обучения, которые принимают во внимание личные вкусы пользователей, свежие релизы и современные тенденции. Исследуется развитие рекомендательных инструментов на основе использования технологий искусственного интеллекта и формирование конкурентных преимуществ музыкальных сервисов.

Ключевые слова: музыкальные сервисы, рекомендательные системы, машинное обучение, глубокое обучение, технологии искусственного интеллекта

THE TRANSFORMATION OF MUSIC SERVICE RECOMMENDATION SYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

Anastasia A. Salazkina

Penza State University, Penza, Russia

nastsalz@gmail.com

Abstract. Recommendation mechanisms have evolved from elementary filters based solely on track playback history to advanced deep learning models that take into account users' personal tastes, recent releases, and current trends. The article examines the development of recommendation tools based on the use of artificial intelligence technologies and the formation of competitive advantages of music services.

Keywords: music services, recommendation systems, machine learning, deep learning, artificial intelligence technologies

Цифровизация музыки привела к созданию колоссального количества музыкальных треков. Появление музыкальных сервисов существенно упростило прослушивание музыки, теперь достаточно посетить веб-сайт или установить мобильное приложение, чтобы получить доступ ко всей любимой музыке, ранее доступной лишь на пластинках, кассетах и дисках. Интерес к таким площадкам породил идеи по созданию специализированных механизмов рекомендаций, позволяющих автоматически подбирать и предлагать пользователям новый интересный контент.

На сегодняшний день рекомендательные системы стали фундаментом для современного бизнеса. Интернет-магазины, музыкальные и стриминговые сервисы, видеохостинги, социальные сети и др. зависят от этих систем, поскольку обеспечивают привлечение и удержание внимания пользователей, а благодаря детальному изучению поведения пользователя и гибкой настройке интерфейсов согласно интересам и предпочтениям удается сохранить интерес клиентов.

Бизнесу необходимы такие рекомендательные системы, которые понимают клиента и предлагают ему то, что нужно. Причем, система должна быть способна не просто реагировать на действия, а предугадывать их и превращать случайных покупателей в постоянных клиентов.

Рекомендательные системы развиваются от простых к сложным, усовершенствованным алгоритмам. Развитие алгоритмов рекомендательных систем связано с эволюцией электронной коммерции и прежде всего с сервисами онлайн-покупок: от интернет-магазинов, до платформенных решений, включая маркетплейсы. На начальном этапе они опираются на базовые показатели, такие как популярность товаров и случайные совпадения в покупках, однако игнорируют индивидуальные предпочтения пользователей. На следующем уровне происходит появление элементов персонализации и учет прошлых действий пользователя, но всё ещё без анализа его поведения в реальном времени. Более продвинутые системы обрабатывают обширный спектр данных: от истории покупок до текущих действий на сайте, включая предпочтения по брендам и времени суток. Они могут предлагать как популярные, так и малоизвестные товары и создавать даже альтернативные варианты. На высшем уровне развития рекомендательной системы происходит более глубокий анализ действия пользователя, алго-

ритмы работают в реальном времени, и система адаптируется под поведение пользователя [1].

Рекомендательные системы востребованы и в тех сервисах, которые эксплуатируют бизнес-модель подписки. Качественные рекомендации помогают продлить время жизни клиента в сервисе от момента подписки до отказа от нее (lifetime). Абонент сервиса должен получать пользу от взаимодействия с ним, чем сложнее интерфейс и настройки, тем меньше вероятность сохранить подписчика среди своих клиентов. В идеале рекомендательная система должна создавать пространство, адаптированное под пользователя в соответствии с его вкусами и потребностями.

Среди музыкальных сервисов широкую популярность в России набрал сервис «Яндекс Музыка». Сервис популярен своим уникальным персонализированным музыкальным потоком «Моя Волна», появившимся ещё в 2021 году. Особенностью музыкального потока стала система рекомендаций, основанная на машинном обучении и анализе поведения слушателей. Функционал достаточно широк, он позволяет уточнять свои рекомендации с помощью пользовательских настроек. Например, можно настроить на погружение в определённый жанр или направление, или вовсе открыть новое, воспользовавшись включением настройки «Незнакомое». Это позволяет управлять параметрами обучения рекомендательной системы, внося в параметры обучения те значения, которые отвечают осознанным запросам пользователя. Рекомендательные системы традиционно «угадывают» предпочтения, но обычно не предусматривают возможность внешнего управления со стороны пользователя.

Интересно отметить, что искусственный интеллект начал применяться в сервисе задолго до появления современных нейросетей. С течением времени алгоритмы искусственного интеллекта заметно улучшились, объем данных увеличился, что дало возможность создавать более качественные и индивидуальные музыкальные рекомендации.

В настоящее время компания «Яндекс» внедряет в свои сервисы рекомендательные системы, основанные на генеративных моделях. Компания гарантирует, что это значительно повысит качество персональных рекомендаций, увеличит использование и даже сэкономит время на поиске контента [2]. Обработка данных происходит мгновенно, синхронизируясь с действиями пользова-

телей в реальном времени и учитывают больше переменных параметров. Алгоритмы рекомендаций строятся на формировании выборки, работе нейронных моделей и ранжировании [3].

Исследуя зарубежный опыт в развитии музыкальных сервисов, можно выявить похожие тенденции и обнаружить интересные сценарии для внедрения технологий ИИ в функционал рекомендательных систем. Так одним из популярных музыкальных сервисов на международном рынке является Spotify. С 2023 года сервис обзавелся собственным помощником в подборе музыки, персонализированный ИИ-диджей собирает информацию о вкусах пользователя и формирует подборки треков, комментируя треки или исполнителя подобно ведущим на радиоэфире. Алгоритмы ИИ-диджея анализируют последние взаимодействия пользователя с треками и плейлистами. Голос виртуального диджея также создан ИИ и механизм работы алгоритмов происходит на основе технологии OpenAI [4].

Помимо прочего, музыкальный сервис Spotify обзавелся и опцией ИИ-плейлист, создающий плейлисты по текстовому описанию. Пользователю достаточно описать тему или настроение, чтобы ИИ подобрал подходящие треки, используя в своей работе большие языковые модели [5].

Мир не стоит на месте и искусно развивается, прогрессируя. Технологии искусственного интеллекта непрерывно совершенствуются, за счет расширения базы знаний и улучшения функционала. Музыкальные сервисы находятся в постоянной конкуренции, стремясь улучшить рекомендательные системы, ведь выигрывает тот, кто создаст самую удобную и интуитивную рекомендательную систему, учитывающую все предпочтения пользователей и сохраняющую их длительное время.

Список литературы

1. Застряли на старте: как ритейлеры теряют выручку из-за слабых алгоритмов рекомендаций // Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/540124-zastrali-na-starte-kak-retejlery-teraut-vyrucku-iz-za-slabyh-algoritmov-rekomendacij> (дата обращения: 07.08.2025).

2. Генератор советов: Яндекс внедряет ИИ-рекомендации в свои сервисы // Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/539978-generator-sovetov-andeks-vnedraet-ii-rekomendacii-v-svoi-servisy> (дата обращения: 14.08.2025).

3. Музыка Яндекса – рекомендации // Яндекс Музыка. URL: <https://music.yandex.ru/recommendations> (дата обращения: 15.08.2025).

4. Spotify debuts a new AI DJ right in your pocket // Newsroom Spotify. URL: <https://newsroom.spotify.com/2023-02-22/spotify-debuts-a-new-ai-dj-right-in-your-pocket> (дата обращения: 17.08.2025).

5. Spotify launches personalized AI playlists you can build using prompts // TechCrunch. URL: <https://techcrunch.com/2024/04/07/spotify-launches-personalized-ai-playlists-you-can-build-using-prompts> (дата обращения: 19.08.2025).

АВТОМАТИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ И УЧЕТА РАСХОДА ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

**Михаил Юрьевич Суркин¹, Константин Валерьевич Тычинин²,
Ирина Викторовна Усманова³**

*^{1,2,3}Филиал Военной академии материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева (г. Пенза), г. Пенза, Россия*

¹planeta_sm@mail.ru

³ivusm@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность разработки автоматизированной информационной системы, обеспечивающей возможность систематизации сведений о горюче-смазочных материалах, применяемых в Вооруженных силах Российской Федерации, нормирования и учета их расхода. Отличительной особенностью системы является полное соответствие действующим руководящим документам, а также наличие инструментов, позволяющих актуализировать содержание сведений, хранимых в системе, и выполнить их анализ по различным критериям.

Ключевые слова: автоматизированная система, горюче-смазочные материалы, нормирование, учет

AUTOMATION OF RATIONING AND ACCOUNTING OF FUEL AND LUBRICANT CONSUMPTION IN THE OPERATION OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

**Michael Yu. Surkin¹, Konstantin V. Tychinin²,
Irina V. Usmanova³**

*^{1,2,3}Branch of the Military Academy of Logistics named after
the Army General A. V. Khrulev (Penza), Penza, Russia*

¹planeta_sm@mail.ru

³ivusm@mail.ru

Abstract. The relevance of developing an automated information system that provides the possibility of systematizing information about fuel and lubricants used in the Armed Forces of the Russian Federation, as well as regulating and

accounting for their consumption, has been substantiated. A distinctive feature of the system is its full compliance with current regulatory documents, as well as the availability of tools that allow for updating the content of information stored in the system and performing its analysis based on various criteria.

Keywords: automated system, fuels and lubricants, rationing, accounting

Снабжение горюче-смазочными материалами (ГСМ) является неотъемлемой частью материально-технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации (РФ). Планирование распределения и расход ГСМ осуществляются на основе нормативов в соответствии с действующими руководящими документами. Постоянные нормы расхода ГСМ для каждого образца изделия вооружения и военной техники (ВВТ), находящегося в эксплуатации, вводятся в действие нормативными правовыми актами федеральных органов исполнительной власти, отвечающих за эксплуатацию образцов изделий ВВТ. Временные нормы расхода ГСМ утверждают руководители (начальники) органов военного управления, отвечающие за эксплуатацию образцов изделий ВВТ по закрепленной номенклатуре, на срок не более 5 лет.

Практика и опыт специальной военной операции (СВО) показывают, что доля образцов ВВТ, не вошедших в постоянные руководящие документы и эксплуатируемых по временным нормативным актам, в разные временные промежутки может достигать 80 %. Поэтому необходимо постоянно проводить работы по уточнению в процессе эксплуатации норм расхода горючего, масел, смазок, специальных жидкостей и подготовку временных руководящих документов, а также целесообразна разработка средств автоматизации поиска справочной информации для различных образцов ВВТ [1]. Кроме того, следует учесть, что в связи с совершенствованием тактико-технических характеристик современных образцов ВВТ, изменением условий их эксплуатации требуют уточнения порядок применения и значения отдельных действующих дополнительных надбавок к нормам расхода ГСМ.

Перечисленные выше факторы в отсутствие сертифицированного программного обеспечения с информационной базой по нормам расхода топлива для различных образцов вооружения и военной техники делают актуальной разработку автоматизированной информационно-справочной системы нормирования

и учета расхода ГСМ при эксплуатации вооружения и военной техники (АИСС «ГСМ»). В настоящее время аналоги такой системы не существуют.

В базе данных (БД) системы представлены следующие сведения:

- нормы расхода горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации и ремонте ракетно-артиллерийского вооружения; таблицы вместимости баков, систем, агрегатов и узлов ракетно-артиллерийского вооружения;

- нормы расхода горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации и ремонте вооружения и техники войск ПВО, техники средств связи, технических средств разведки;

- нормы расхода горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации и ремонте автомобильной и инженерной техники; таблицы вместимости баков, систем, агрегатов и узлов автомобильной и инженерной техники, сроки хранения горючего, масел, смазок и специальных жидкостей в баках, системах и агрегатах вооружения и военной техники, находящихся на хранении;

- нормы расхода горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации и ремонте вычислительной техники и автоматизированных систем управления;

- сведения о поступлении и расходе горючего, масел, смазок и специальных жидкостей в воинских подразделениях.

Предполагается, что реально применять АИСС «ГСМ» будут пользователи, не являющиеся специалистами в области компьютерных информационных технологий. Поэтому в системе реализован простой и наглядный интерфейс, дружественный к пользователю.

Основной отличительной особенностью АИСС «ГСМ» является строгое соответствие содержащихся в ней сведений введенному в действие приказу Министра обороны РФ [2].

Обширность номенклатуры образцов военной техники, состоящих на вооружении в различных воинских подразделениях, ее постоянное расширение для обеспечения потребностей в ходе специальной военной операции делают необходимым наличие возможности оперативного поиска нужных сведений. Поэтому

в АИСС «ГСМ» предусмотрены развитые средства введения новой информации, а также инструменты поиска и редактирования информации, используемые при работе с нормативными документами и решении задач обеспечения эксплуатации ВВТ.

Большое разнообразие информации, хранимой в БД, определяет целесообразность разработки средств ее анализа по различным критериям. Представление результатов анализа в графической форме упрощает ее восприятие и позволяет принимать обоснованные решения по планированию расхода топлива.

Учет прихода и расхода ГСМ в воинских подразделениях составляет отдельную проблему и регламентируется соответствующими руководящими документами, требующими ведения обширного комплекта унифицированных документов. Традиционно участие «человеческого фактора» в выполнении расчетов замедляет процессы управления и сопровождается появлением большого количества ошибок в вычислениях и оформлении документов. Поэтому автоматизация деятельности должностных лиц службы ГСМ существенно повышает эффективность учета расхода топлива, и наилучшие результаты достигаются при комплексном подходе к организации работы с ГСМ, включая автоматизацию подготовки комплекта бумажных документов в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [3]. В рамках единой автоматизированной информационной системы необходимо осуществлять весь комплекс работ, выполняемых в службе ГСМ, что и определяет дальнейшие направления развития АИСС «ГСМ».

Список литературы

1. Усманова И. В., Суркин М. Ю., Фирстанов И. П. Совершенствование диагностирования неисправностей оборудования современных образцов вооружения // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2022. С. 251–255.

2. Об утверждении Норм расхода горючего, масел, смазок и специальных жидкостей при эксплуатации вооружения, военной и специальной техники и Инструкции по нормированию расхода горючего, масел, смазок, специальных жидкостей в Вооруженных силах Российской

Федерации : приказ Министра обороны Российской Федерации № 690дсп от 16.12.2020.

3. Сафонов П. П., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Комплексный подход к проблеме автоматизации процессов управления запасами ракет и боеприпасов // Вестник СамГТУ. Сер.: Взрывчатые вещества, пороха и твердые ракетные топлива. Синтез, свойства, технология. Самара : Изд-во Самарского государственного технического университета, 2023. Вып. 16. Ч. 3. С. 3–18.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

Михаил Юрьевич Суркин¹, Ирина Викторовна Усманова²,
Евгений Вячеславович Ханжин³

*^{1,2,3}Филиал Военной академии материально-технического обеспечения
имени генерала армии А. В. Хрулева (г. Пенза), г. Пенза, Россия*

¹planeta_sm@mail.ru

²ivusm@mail.ru

³ravist@mail.ru

Аннотация. Рассматривается программная реализация автоматизированной системы диагностирования неисправностей оборудования мобильных средств автоматизации военного назначения, основанная на использовании технологий экспертных систем. Применение системы позволяет снизить затраты времени на поиск неисправностей, повысить эффективность технического обслуживания технических устройств.

Ключевые слова: автоматизированная система, экспертная система, неисправность, диагностирование

AUTOMATED SYSTEM FOR EQUIPMENT FAILURE DIAGNOSTICS FOR MODERN WEAPONRY

Michael Yu. Surkin¹, Irina V. Usmanova², Evgeny V. Hanzhin³

*^{1,2,3}Branch of the Military Academy of Logistics named after
the Army General A. V. Khrulev (Penza), Penza, Russia*

¹planeta_sm@mail.ru

²ivusm@mail.ru

³ravist@mail.ru

Abstract. This paper examines the software implementation of an automated system for troubleshooting equipment for mobile military automation systems, based on expert system technologies. The system's use reduces the time spent troubleshooting and improves the efficiency of technical device maintenance.

Keywords: automated system, expert system, malfunction, diagnostics

Одной из задач, решаемых в повседневной деятельности Вооруженных сил Российской Федерации, является поддержание вооружения, военной и специальной техники в установленной степени готовности. Диагностирование неисправностей является первым и необходимым этапом работы в случае возникновения проблем в работе оборудования. В [1] отмечается целесообразность использования технологий искусственного интеллекта для оценки возникшей ситуации и прогнозирования ее дальнейшего развития.

Предлагаемая автоматизированная информационная система (АИС) предназначена для формирования логических заключений о наличии и возможных последствиях неисправностей оборудования изделия командно-штабной машины 83Т888-1.10, а также возможных способах их устранения. Изделие 83Т888-1.10 используется для организации построения комплексов средств автоматизации, пунктов управления и командных пунктов формирований ракетных войск и артиллерии.

В рассматриваемой АИС реализованы типовые компоненты экспертных систем, в которых знания представлены в форме байесовских сетей. АИС может использоваться автономно, но более эффективно ее применение в составе комплексной автоматизированной системы, предназначенной для расчетов командно-штабной машины 83Т888-1.10 [2]. В процессе эксплуатации изделия накапливаются и сохраняются сведения о возникающих неисправностях оборудования, что позволяет обобщать и анализировать получаемые данные и, как следствие, уточнять смысловые взаимозависимости между событиями и их количественные и вероятностные характеристики.

АИС выполняет следующие основные функции:

- настройка сведений, хранимых в базе знаний (БЗ) и базе данных (БД), на особенности текущего состояния оборудования;
- формирование активного фокуса сети прогнозирования, т.е. выделение и анализ показателей состояния оборудования, интересующих пользователя;
- формирование логических цепочек заданной длины, отражающих взаимовлияние показателей состояния оборудования;
- формирование рекомендаций по устранению выявленных проблемных ситуаций;
- формирование объяснений результатов логического вывода;

– контроль правильности ввода семантической сети логического вывода.

Программное обеспечение системы разработано с использованием языка *C#* для операционных систем семейства Windows не ниже версии 7. Для представления сведений БЗ и выполнения основных расчетов применены средства электронных таблиц *MS Excel*. Последнее позволит специалистам внимательно изучить структуру и взаимосвязь всех показателей состояния оборудования, а также устранил ограничения на порядок заполнения БЗ в АИС, предоставляя возможность фиксировать данные об оборудовании в произвольном порядке. Кроме того, процессор электронных таблиц весьма популярен в Вооруженных силах РФ из-за своей простоты и доступности и широко применяется для выполнения различных расчетов, что особенно актуально в случае отсутствия унифицированного программного обеспечения для решения задач на конкретном рабочем месте.

Для работы с АИС необходимы пользователи следующих категорий, выделенных по функциональному признаку:

– эксперт, знания и опыт которого необходимы для заполнения базы знаний;

– администратор БД и БЗ, поддерживающий АИС в актуальном состоянии;

– конечные пользователи, использующие АИС по ее прямому назначению – диагностирование неисправностей и прогнозирование развития текущей ситуации.

В роли эксперта выступает технический специалист, имеющий положительный опыт работы с оборудованием образца вооружения или начальник расчета изделия; в роли администратора – начальник расчета; в качестве конечного пользователя – номера расчета, в деятельности которых возникли проблемные ситуации, связанные с оборудованием.

Приведенные категории пользователей не обладают специальными знаниями в области компьютерных информационных технологий и экспертных систем, поэтому при создании АИС большое внимание уделено разработке разнообразных средств, обеспечивающих дружелюбность интерфейса и надежность взаимодействия пользователей с системой. Для этого же предназначена и подсистема объяснений, обеспечивающая взаимодействие

с пользователями на профессиональном диалекте естественного языка.

Одним из характерных факторов при проведении военных операций является быстрое изменение оперативной обстановки. Поэтому текущая работа с системой начинается с настройки всех контролируемых показателей на особенности текущей ситуации, выполняемая начальником расчета или конечным пользователем. В процессе настройки указываются пороговые значения контролируемых параметров, актуальные для сложившейся обстановки.

Эта информация используется в качестве исходных данных для работы подсистемы логического вывода. Кроме этого, в активный фокус включаются значения утверждений, которые задаются вручную или предварительно вычисляются.

В автоматическом режиме выполняется поиск ситуаций в семантической сети логического вывода с формированием списка рекомендаций по предотвращению появления потенциально опасных и использованию преимуществ благоприятных ситуаций.

Полученные данные становятся основанием для реализации комплекса мероприятий, направленных на совершенствование процесса планирования технического обслуживания и/или ремонта оборудования, что позволяет снизить требования к уровню квалификации конечных пользователей системы.

Взаимодействие структурных компонентов АИС осуществляется посредством фиксации в БД конечным пользователем сведений об основных показателях состояния оборудования, актуальных на текущий момент.

Преимущества применения АИС заключаются в: уменьшении времени поиска неисправностей оборудования образца вооружения; повышении эффективности планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования; увеличении эффективности обучения личного состава, участвующего в эксплуатации образца вооружения. Предлагаемое программное обеспечение инвариантно к составу и характеристикам оборудования и требует лишь настройки сведений, подлежащих хранению в БЗ, на особенности предметной области.

Таким образом, применение разработанной АИС позволит экипажу оперативно и быстро выявить неисправность элементов оборудования и блоков изделия 83Т888-1.10 как в мирное время, так и в боевых действиях, а внедрение программы в учебный

процесс позволит сократить сроки обучения экипажей мобильного пункта управления.

Список литературы

1. Усманова И. В., Суркин М. Ю., Фирстанов И. П. Совершенствование диагностирования неисправностей оборудования современных образцов вооружения // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике : сб. ст. XXIV Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2024. С. 251–255.

2. Булатов А. Г., Суркин М. Ю., Усманова И. В. Автоматизированная информационно-справочная система для расчета изделия 83т888-1.10 // Военное обозрение : сб. 2021. № 8 (2). С. 11–15.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ФИТНЕС-ИНДУСТРИИ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИЗНЕСА

Арте́м Николаевич Толмач¹,
Светла́на Валенти́новна Рынди́на²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹artem_tolmach@mail.ru

²svetlanar2004@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ ключевых направлений цифровой трансформации предприятий фитнес-индустрии. Рассмотрены современные цифровые решения, внедряемые в бизнес-процессы фитнес-клубов, проанализированы их преимущества для повышения операционной эффективности, клиентоориентированности и конкурентоспособности предприятий. Сформулированы перспективы дальнейшего развития индустрии на основе интеграции технологий анализа данных и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: цифровая трансформация, фитнес-индустрия, управление бизнес-процессами, клиентский опыт, искусственный интеллект, большие данные

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE FITNESS INDUSTRY: MODERN BUSINESS SOLUTION

Artem N. Tolmach¹, Svetlana V. Ryndina²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹artem_tolmach@mail.ru

²svetlanar2004@yandex.ru

Abstract. An analysis of key areas of digital transformation for fitness industry companies is conducted. Modern digital solutions being implemented in fitness club business processes are examined, and their benefits for improving operational efficiency, customer focus, and competitiveness are analyzed. Prospects for further industry development based on the integration of data analysis and artificial intelligence technologies are outlined.

Keywords: digital transformation, fitness industry, business process management, customer experience, artificial intelligence, big data

Сегодня индустрия фитнес-услуг переживает этап интенсивной цифровой трансформации, что вызвано такими факторами, как рост конкуренции, изменение ожиданий потребителей, а также необходимость оптимизации своих бизнес-процессов. Цифровизация – это далеко не опциональный инструмент развития бизнеса, а важный фактор в достижении его конкурентоспособности.

Цифровая трансформация в современном фитнесе включает в себя не только внедрение популярных технологий, таких как фитнес-трекеры и мобильные приложения. В первую очередь, это перестройка внутренних процессов бизнеса, таких как управление клиентской базой, продажами, маркетинговым и финансовым планированием. Такой комплексный подход к цифровизации направлен на создание целостной цифровой экосистемы, которая ориентирована, в первую очередь, на потребности клиента и обеспечение эффективного функционирования бизнеса.

Классифицируем по типам основные цифровые решения, внедряемые фитнес-предприятиями сегодня.

1. CRM-системы.

CRM (Customer Relationship Management, система управления взаимоотношениями с клиентами) – ядро цифрового бизнеса. Они позволяют автоматизировать продажи, вести историю взаимодействия с клиентами и персонализировать коммуникации с ними, чтобы в итоге управлять их лояльностью [1]. CRM помогают повысить конверсии за счёт таргетированных рассылок, снизить отток клиентов за счёт активного взаимодействия с ними, а также предоставляют возможность сегментации клиентской базы для создания персонализированных предложений и удержания проблемных клиентов.

К недостаткам CRM-систем относят высокую стоимость внедрения и настройки под потребности конкретного фитнес-предприятия, а также необходимость обучения персонала работе с системой.

2. Мобильные приложения.

Мобильные приложения – это, несомненно, золотой стандарт в ожидании клиентов от оказываемых им услуг. Помимо классических функций, таких как запись на тренировки и покупка абонементов, современные фитнес-приложения часто интегрируют такой функционал, как персонализированные тренировочные планы и отслеживание прогресса пользователя, контроль питания,

а также чаты с тренерами. К преимуществам таких приложений относится увеличение вовлечённости и лояльности клиентов за счёт создания единого цифрового пространства для фитнеса, снижение нагрузки на административный персонал путем автоматизации бизнес-процессов предприятия и рутинных операций. Стоит отметить и добавление ещё одного канала монетизации для бизнеса за счёт онлайн тренировок и персональных планов [2].

Существенными недостатками можно назвать необходимость постоянной технической поддержки и обновления мобильного приложения, а также риск низкой активности клиентов в приложении, если оно не предоставляет ценного пользовательского опыта.

3. Умное оборудование и интернет вещей (IoT).

Ещё один тренд цифрового фитнеса – это умное оборудование и интернет вещей. Данная концепция включает в себя такие элементы, как тренажёры с подключением к Интернету, датчики загруженности залов, системы умного доступа по QR-коду или отпечатку пальца для сбора данных в реальном времени. Умные гаджеты позволяют интегрировать данные о тренировках пользователя в мобильное приложение для отслеживания его прогресса [3]. Однако внедрение такого оборудования влечет значительные затраты на его закупку, а также возможные проблемы с совместимостью техники различных брендов с программным обеспечением, аккумулирующим данные пользователей. Проблема может быть особенно актуальна в реалиях российского рынка в условиях иностранных санкций.

4. Аналитика больших данных (Big Data) и системы бизнес-аналитики (BI).

Эти системы собирают данные из CRM, мобильных приложений, фитнес-трекеров и предоставляют руководству компании инструменты для принятия управленческих решений [4]. Они способны выявлять тенденции и прогнозировать спрос на различные услуги, предоставлять глубокую аналитику оттока клиентов и факторов, на него влияющих, а также помогать оптимизировать ценовую политику и маркетинговый бюджет. К существенным ограничениям при использовании BI-систем можно отнести требования к квалифицированным кадрам для интерпретации предоставляемой информации, а также вероятные проблемы с объединением данных, полученных из различных источников.

Стоит отметить, что в дальнейшем развитии в области цифровой трансформации индустрия фитнеса неразрывно связана с технологиями искусственного интеллекта (ИИ), которые способны вывести все перечисленные выше решения на совершенно новый уровень [5]. Например, алгоритмы ИИ могут анализировать поведение клиентов и предлагать им персонализированные типы абонементов с индивидуальным ценообразованием, а также предсказывать этап, на котором вероятен уход клиента. С помощью ИИ также можно оценивать данные о здоровье, целях, прогрессии и даже эмоциональном состоянии пользователя, собираемые с помощью умных гаджетов. Алгоритм может в реальном времени адаптировать тренировочную программу и предлагать оптимальную нагрузку и упражнения под конкретного пользователя. Чат-боты и голосовые помощники на базе ИИ способны круглосуточно отвечать на вопросы пользователей и помогать с составлением плана питания, что должно существенно снизить нагрузку на тренерский состав.

Несмотря на очевидные преимущества, успешная цифровая трансформация бизнеса в сфере фитнеса требует от руководства компании комплексного подхода и инвестиций не только в технологии, но и в развитие цифровых компетенций своих сотрудников. Внедрение цифровых решений позволит фитнес-клубам оптимизировать свои внутренние процессы и снизить издержки, а также обеспечить принципиально новый уровень клиентоориентированности на основе персонализации, что может стать ключевым фактором в конкурентоспособности предприятий на растущем рынке фитнес-услуг.

Список литературы

1. CRM – что это такое? URL: https://crm.ru/blog/crm-chto-eto-takoe/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 07.10.2025).

2. Портал «Роскачество». 7 лучших фитнес-приложений для Android. URL: <https://rskrf.ru/tips/obzory-i-topu/7-luchshikh-fitness-prilozheniy-dlya-android/> (дата обращения: 07.10.2025).

3. Интернет вещей (IoT) в спортивной индустрии: мониторинг и управление тренировками. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-iot-v-sportivnoy-industrii-monitoring-i-upravlenie-trenirovkami> (дата обращения: 07.10.2025).

4. ВІ-системы: что это и зачем они нужны бизнесу. URL: https://penza.1cbit.ru/blog/bi-sistemy-cto-eto-i-zachem-oni-nuzhny-biznesu/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 07.10.2025).

5. Применение искусственного интеллекта для оптимизации спортивных тренировок и соревнований. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-optimizatsii-sportivnyh-trenirovok-i-sorevnovaniy> (дата обращения: 07.10.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ В БАНКОВСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Надежда Игоревна Хомякова¹,
Алексей Анатольевич Масленников²

^{1,2}*Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия*

¹po4emy4ka90@gmail.com

²almas@rambler.ru

Аннотация. Рассматриваются основные современные способы защиты конфиденциальных данных в банковских информационных системах. Приведены методы оценки угроз информационной безопасности и наиболее распространенные техники защиты данных.

Ключевые слова: конфиденциальные данные, метод защиты данных, банковская информационная система

STUDYING METHODS FOR PROTECTING CONFIDENTIAL DATA IN BANKING INFORMATION SYSTEMS

Nadezhda I. Khomyakova¹, Aleksey A. Maslennikov²

^{1,2}*Penza State University, Penza, Russia*

¹po4emy4ka90@gmail.com

²almas@rambler.ru

Abstract. This article provides an overview of the main modern methods for protecting confidential data in banking information systems. It also describes methods for assessing information security threats and examines the most common data protection techniques.

Keywords: confidential data, data protection method, banking information system

Информационная безопасность играет ключевую роль в функционировании банковских структур, поскольку утечка конфиденциальных данных может привести к серьезным финансовым потерям и утрате доверия клиентов. По мере активного внедрения

информационных технологий возрастает количество киберугроз, связанных с безопасностью данных [1]. Исследование применяемых в современных банковских информационных системах методов защиты данных позволит систематизировать и оценить их преимущества и недостатки.

Основные задачи исследования

Рост числа случаев несанкционированного доступа к данным банков вынуждает организации искать эффективные методы защиты. Согласно отчетам аналитических компаний, ежегодные потери мировых банков от хакерских атак достигают миллиардов долларов. Российские банки также сталкиваются с подобными проблемами, что подчеркивает важность разработки надежных механизмов защиты [2].

Для создания концепции комплексного решения указанной задачи необходимо провести исследование методов защиты конфиденциальных данных в банковских информационных системах и оценить их эффективность в современных условиях. Можно выделить следующие основные задачи исследования:

- изучение существующих методов защиты данных;
- оценка сильных и слабых сторон каждого метода;
- выявление лучших практик в области информационной безопасности;
- формулировка рекомендаций по выбору оптимального подхода для конкретных условий.

Защита данных в банковских системах

Банковские информационные системы обеспечивают защиту данных несколькими способами [3]:

1. Шифрование данных.

Шифрование данных является основным способом защиты и может быть симметричным и асимметричным. В настоящее время чаще всего используется комбинация обоих типов шифрования. Применяются протоколы SSL/TLS для передачи данных и алгоритмы AES и RSA для криптографического преобразования информации.

Преимущества: высокая надежность, невозможность расшифровки без ключа. Недостатки: сложность администрирования ключей, возможно замедление работы системы.

2. Аутентификация и авторизация.

Процедуры аутентификации и авторизации гарантируют, что доступ к ресурсам получают только уполномоченные пользователи. Существуют одно-, двух- и многофакторные схемы аутентификации, включающие пароль, токены, отпечатки пальцев и биометрические признаки.

Преимущества: повышенная надежность, возможность ограничения круга лиц для доступа к данным. Недостатки: повышенные затраты на реализацию сложных схем аутентификации.

3. Мониторинг и аудит.

Контроль доступа осуществляется средствами мониторинга и аудита, регистрирующими действия пользователей и генерирующими отчеты о попытках проникновения в систему. Банки внедряют системы DLP (Data Loss Prevention), IDS/IPS (Intrusion Detection Systems / Intrusion Prevention Systems), SIEM (Security Information and Event Management).

Преимущества: возможность быстрого обнаружения и предотвращения попытки несанкционированного доступа. Недостатки: увеличение затрат на сопровождение и обновление систем мониторинга.

4. Резервное копирование и восстановление данных.

Резервное копирование обеспечивает сохранность данных при сбоях оборудования или аварийных ситуациях. Банки регулярно проводят резервное копирование данных и практикуют регулярное тестирование восстановления.

Преимущества: гарантия сохранности данных, быстрое восстановление после сбоев. Недостатки: высокие расходы на хранение резервных копий, необходимость регулярного тестирования восстановительных процедур.

Выбор конкретной стратегии зависит от размера банка, типа операционной среды и степени риска. Небольшие банки могут выбрать стандартную схему защиты с применением стандартных методов шифрования и двухфакторной аутентификации. Большие международные банки обязаны применять комплексные подходы, включающие использование многослойных защитных механизмов и мониторинга. Оптимальным решением является сочетание всех рассмотренных методов защиты с учетом конкретных потребностей каждой организации.

Расчет индекса утечки данных (*Leakage Index*)

Одним из важных показателей определения уровня риска утечки данных является индекс утечки данных (*LI*). Этот индекс рассчитывается как отношение числа возможных утечек данных к общему объему хранимой информации:

$$LI = \frac{N_{leaks}}{N_{total}},$$

где N_{leaks} – количество возможных утечек данных; N_{total} – общее количество единиц хранимой информации.

Пример расчета: пусть компания хранит 1 млн единиц информации, из которых существует потенциальная угроза утечки для 10 тыс. единиц. Тогда:

$$LI = \frac{10000}{1000000} = 0.01 \text{ (или 1 \%)}.$$

Модель оценки риска (*Risk Evaluation Model*)

Для оценки риска потери данных целесообразно использовать формулу:

$$R = P * I,$$

где R – общий риск; P – вероятность наступления нежелательного события (например, утечки данных); I – величина возможного ущерба (например, денежный эквивалент потерянных данных).

Пример расчета: пусть вероятность утечки составляет 0.05, а средний ущерб от утечки – \$100000. Тогда общий риск в денежном эквиваленте составит:

$$R = 0.05 * 100000 = 5000(\$)$$

Вероятность успешной атаки (*Attack Success Probability*)

Вероятность успешной атаки на защищённую систему можно выразить формулой:

$$ASP = 1 - (1 - P)^n,$$

где ASP – вероятность успешной атаки; P – вероятность взлома одной точки защит; n – количество защитных слоев.

Пример расчета: если вероятность взлома одного защитного слоя равна 0.01, а система состоит из 3 защитных слоев, то:

$$ASP = 1 - (1 - 0.01)^3 = 1 - 0.970299 = 0.029701 \approx 3 \%$$

Алгоритм шифрования AES (Advanced Encryption Standard)

Одним из популярных методов защиты данных является AES-шифрование, основанное на многократном преобразовании блока данных размером 128 бит с использованием секретного ключа длиной 128, 192 или 256 бит. Процесс шифрования можно описать формулой:

$$\text{CipherText} = E(K, \text{OpenText}),$$

где *CipherText* – зашифрованный текст; *E* – функция шифрования; *K* – ключ шифрования, *OpenText* – открытый текст.

Процесс восстановления исходного текста (расшифровки) задается формулой:

$$\text{OpenText} = D(K, \text{CipherText}),$$

где *D* – функция расшифровки.

Таким образом, современные банковские информационные системы нуждаются в постоянной защите от угроз, связанных с кражей, изменением или уничтожением данных. Среди основных методов защиты можно выделить шифрование, аутентификацию и резервное копирование. Для обеспечения надежной защиты данных и устойчивого развития бизнеса в условиях цифровой трансформации экономики необходимо использовать комплексный подход, объединяющий технические, организационные и юридические меры защиты.

Список литературы

1. Иванов И. И., Петров П. П. Информационная безопасность банков : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2023.
2. ГОСТ Р 57580.1–2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность финансовых (банковских) организаций. Защита информации финансовых организаций. Базовый состав организационных и технических мер. Ч. 1. Общие положения.
3. Jones M. K. Cybersecurity in Banking Sector: Challenges and Solutions // Journal of Financial Security. 2022. Vol. 15, № 2. P. 123–145.

МЕТОДИКА ТРАНСФОРМАЦИИ ДОРОЖНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

**Елена Владимировна Чекина¹,
Олег Константинович Головнин²**

*^{1,2}Самарский государственный медицинский университет,
г. Самара, Россия*

¹ev-chekina@yandex.ru

²golovnin@bk.ru

Аннотация. Проведен системный анализ процессов разработки цифровых проектов организации дорожного движения и предложена методика трансформации мультиструктурной и мультимодальной информации транспортного планирования для использования в средствах транспортного моделирования и прогнозирования. Методика предполагает выполнение последовательности атомарных шагов, которые могут быть автоматизированы с использованием настраиваемых программных роботов. Выполнена программная реализация и апробация предложенной методики на участках улично-дорожной сети г. Самары (Россия) с использованием системы автоматизированного проектирования и средств микроскопического моделирования. Применение предложенной методики обеспечивает снижение трудозатрат на оценку эффективности планируемых мероприятий организации дорожного движения в среднем на 87 %.

Ключевые слова: интеграция информации, системный анализ, моделирование, мультиструктурные данные, мультимодальные данные

METHOD FOR TRANSFORMING ROAD INFORMATION FOR MODELING TRAFFIC FLOWS

Elena V. Chekina¹, Oleg K. Golovnin²

^{1,2}Samara State Medical University, Samara, Russia

¹ev-chekina@yandex.ru

²golovnin@bk.ru

Abstract. A systematic analysis of the processes of developing digital traffic management projects has been carried out and a methodology for the transformation of multistructural and multimodal transport planning information for use

in transport modeling and forecasting tools has been proposed. The technique involves performing a sequence of atomic steps that can be automated using customizable software robots. The software implementation and testing of the proposed methodology was carried out on sections of the city's road network. Samara, Russia using the computer-aided design system and microscopic modeling tools. The application of the proposed methodology ensures a reduction in labor costs for evaluating the effectiveness of planned traffic management measures by an average of 87 %.

Keywords: information integration, system analysis, modeling, multistructural data, multimodal data

Проектные решения по улучшению транспортной инфраструктуры закрепляются в документах транспортного планирования – проектах организации дорожного движения, комплексных схемах, транспортных стратегиях. Для оценки эффективности решений, предлагаемых в таких документах, применяются средства моделирования транспортных потоков. Однако использование средств моделирования на практике затрудняется ввиду сопутствующего роста трудовых и временных затрат на моделирование и оценку проектных решений. Повсеместное использование систем автоматизированного проектирования дорожного движения, не обеспечивающих интеграцию средств моделирования, также увеличивает сложность целевых решений для специалистов, поскольку требуется обеспечить использование информации систем проектирования, представленной в различных структурах и форматах, в средствах моделирования.

В настоящей работе предложена методика трансформации мультиструктурной и мультимодальной информации, описывающей проектные решения, для оценки их эффективности в режиме онлайн с использованием средств моделирования.

Эффективность использования систем автоматизированного проектирования в сфере планирования безопасной дорожной среды неоднократно доказана на практике [1]. К наиболее распространенным системам этого класса в России относят Civil3D, IndorRoad, Титул-2005, CREDO [2]. Каждая из них покрывает потребности специалистов в сфере дорожного проектирования и планирования. Оценка эффективности мероприятий по транспортному планированию выполняется при помощи средств транспортного моделирования, таких как PTV Vision Vissim и Visum, SUMO, MATSim [3]. Для идентификации и валидации транспорт-

ной модели требуется определенный объем исходных данных, передача которых возможна с помощью внешних и встроенных вспомогательных инструментов [4]. В самих же системах проектирования возможность автоматизированной передачи данных в среды моделирования не поддерживается.

Таким образом, возникает необходимость интеграции данных, представленных в различных структурах и форматах. Современные решения для интеграции мультиструктурных и мультимодальных данных часто базируются на облачных технологиях, программируемых роботах и распределенных системах хранения данных [5]. Другое направление – использование семантических технологий, обеспечивающих связывание и сопоставление данных, представленных в различных структурах, через общие понятия и отношения между ними [6]. Применяются и графовые базы данных, позволяющие унифицировать структуры данных и обеспечивать их совместимость [7]. Другим распространенным методом является применение машинного обучения для извлечения и объединения признаков из мультимодальных данных [8]. Однако, использование семантических технологий, технологий машинного обучения и нейросетевых моделей затруднено на практике ввиду ресурсоемкости, поскольку поступающие данные следует отфильтровать и оценить в соответствии с их семантикой, текущим контекстом, а также требованиями лиц, принимающих решения в области организации дорожного движения.

В целях снижения ресурсоемкости данных процессов предложена методика трансформации информации, описывающей проектные решения, для оценки их эффективности с использованием средств моделирования. Методика базируется на совместном применении нескольких технологий и инструментов для получения, обработки и анализа данных. В предложенной методике трансформации информации задача получения данных решается с помощью настраиваемых программных роботов (RPA), обработка данных осуществляется на основе продукционной модели, а анализ данных выполняется с использованием микромоделей транспортных потоков. Так, RPA-робот имитирует работу человека и взаимодействует с системами транспортного проектирования и моделирования через графический интерфейс, а применение продукционной модели позволяет формализовать правила, важные для лиц, принимающих решения, – разработчиков схем и проектов организации дорож-

ного движения. Методика предполагает последовательное выполнение восьми шагов, рассматриваемых в формализме жизненного цикла цифровых проектов организации дорожного движения [9]:

1) из цифрового проекта дорожного движения извлекаются атрибуты, характеризующие геометрические характеристики улично-дорожной сети;

2) формируется набор правил преобразования информации в формате «если – то»;

3) выполняется идентификация параметров используемой транспортной модели по характеристикам транспортных потоков;

4) выполняется валидация транспортной модели по параметрам, доступным в текущей модели;

5) в случае необходимости выполняется калибровка транспортной модели аналогично п. 3;

6) осуществляется извлечение проверяемых решений и внесение их в транспортную модель;

7) проводится экспериментальное исследование функционирования элементов транспортной модели для разработанных проектных решений в текущих и прогнозируемых параметрах («до – после»);

8) данные по оценке текущего варианта проектных решений представляются оператору в виде цифрового проекта организации движения.

Выполнена программная реализация [10] и апробация разработанной методики. Моделирование вариантов проектных решений проводилось на сложных участках транспортной сети г. Самары: а) пр. Кирова, б) ул. Авроры, в) ул. Ново-Вокзальная, г) ул. 22-го Партсъезда и на улицах исторического центра города: д) ул. М. Горького, е) ул. А. Толстого, ж) ул. Самарская з) ул. Ярмарочная.

В ходе экспериментов оценивалось время выполнения операций специалистом-проектировщиком с использованием предложенной методики, и без нее в ручном режиме и с использованием скриптов автоматизации (рис. 1).

Зафиксировано снижение трудоемкости при использовании предложенной методики в среднем на 87 % по сравнению с ручным режимом, и в среднем на 65 % при использовании скриптов.

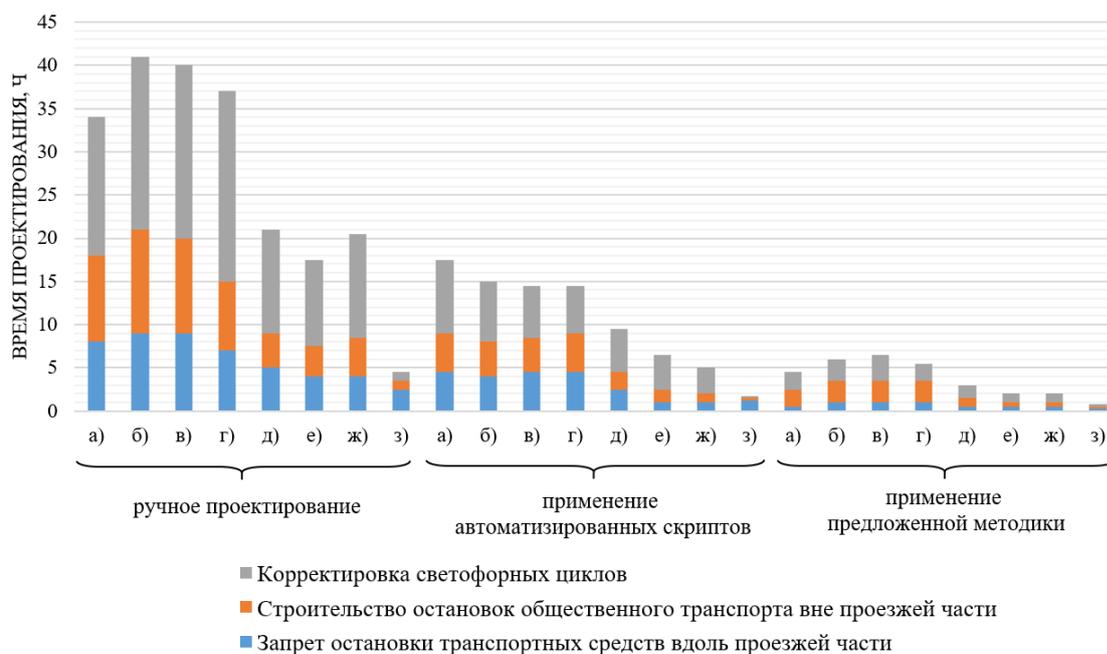


Рис. 1. Время, затраченное на проектирование участков улично-дорожной сети, в зависимости от примененной методики

Таким образом, применение предложенной методики на практике обеспечивает снижение трудозатрат на оценку эффективности проектных решений по организации дорожного движения, избавляя проектировщика от необходимости выполнять работы по модификации транспортной модели при проверке проектных решений.

Список литературы

1. Андреев А. П., Голов Е. В., Сорокина Е. В. Эффективность автоматизированных систем проектирования в сфере планирования безопасной дорожной среды // Магистратура автотранспортной отрасли : сб. тр. конф. СПб., 2021. С. 58–62.
2. Абрамов Я. И., Кручинин И. Н. Обзор интеллектуальных систем проектирования автомобильных дорог, применяемых в Российской Федерации // Материалы XVII Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. С. 487–489.
3. Ullah M. R. [et al.]. Vehicular traffic simulation software: A systematic comparative analysis // Pakistan Journal of Engineering and Technology. 2021. Vol. 4, № 1. P. 66–78.
4. SUMO. URL: <https://sumo.dlr.de/>

5. Sharma S., Mandal P. K. A comprehensive report on machine learning-based early detection of alzheimer's disease using multi-modal neuroimaging data // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 55, № 2. P. 1–44.

6. Almujaally N. A. [et al.]. Multi-modal remote perception learning for object sensory data // Frontiers in Neurorobotics. 2024. Vol. 18. P. 1427786.

7. Baqal H. M. A., Sidiq M. A. Graph Databases: Revolutionizing Database Design and Data Analysis // Current J. of Applied Science and Technology. 2024. Vol. 43. P. 45–56.

8. Gao J. [et al.]. A survey on deep learning for multimodal data fusion // Neural Computation. 2020. Vol. 32, № 5. P. 829–864.

9. Чекина Е. В., Головнин О. К. Цифровая трансформация процесса разработки проектов организации дорожного движения // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 12. С. 206–209.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024690758. Система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения : № 2024687752 : заявл. 18.11.2024 : опубл. 17.12.2024 / Головнин О. К., Чекина Е. В.

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИСКА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВРЕМЕНИ СЛУЖБЫ

Александр Викторович Чернышов

*Мытищинский филиал Московского государственного технического
университета имени Н. Э. Баумана, Мытищи,
Московская область, Россия*

sch-ru@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос оценки вероятности отказа однократно записываемого оптического диска в процессе длительного хранения по данным, получаемым в процессе оценки срока службы оптического диска методом ускоренного старения. Такая оценка вероятности отказа, как и оценка срока службы, будет справедлива только для той партии дисков, выборка из которой подвергалась испытаниям на ускоренное старение. Показана возможность такой оценки при условии понимания термина «срок службы оптического диска» в соответствии с методикой оценки его значения.

Ключевые слова: долговременный архив электронной информации, оптический диск однократной записи, деградация оптического диска, вероятность отказа оптического диска, метод ускоренного старения, срок службы оптического диска

ON THE QUESTION OF THE POSSIBILITY OF ESTIMATING THE PROBABILITY OF FAILURE OF AN OPTICAL DISK BASED ON A SERVICE LIFE VALUE

Alexander V. Chernyshov

*Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University,
Mytischki, Moscow region, Russia*

sch-ru@yandex.ru

Abstract. The Is. of estimating the probability of failure of a write-once optical disk (WORM) during long-term storage based on data obtained during the evaluation of the optical disk's service life by the accelerated aging method is considered. Such an assessment of the probability of failure, as well as an assessment

of the service life, will be valid only for the batch of disks, a sample from which was subjected to accelerated aging tests. The possibility of such an assessment is shown, provided that the term "optical disk lifetime" is understood in accordance with the methodology for evaluating its meaning.

Keywords: long-term archives of electronic information, write-once optical discs, optical disc degradation, optical disc failure probability, accelerated aging method, optical disc service life

При проектировании файловых хранилищ долговременного хранения архивной информации на базе оптических дисков однократной записи встаёт вопрос о расчёте эксплуатационных характеристик хранилища, что требует, в том числе расчёта и минимизации вероятности потери информации из-за деградации носителей с течением времени.

В целом этот расчёт не представляет сложности и может быть выполнен на основе стандартных методов теории вероятностей. Целевая математическая модель, описывающая вероятность потери информации в хранилище, будет зависеть от типа структуры, в которые объединяются оптические диски в архиве. Так, например, для наиболее простой структуры с кратным дублированием одиночных дисков модель будет иметь вид:

$$Q_n = 1 - (1 - q^n)^l,$$

где q – вероятность выхода из строя одного оптического диска в течение периода между контролями исправности; l – количество оптических дисков, необходимых для сохранения одной копии информации, поступившей в хранилище; n – количество идентичных копий информации; Q_n – искомая вероятность потери информации в архиве.

Однако на практике оценка значения q зачастую затруднена. Имеется очень ограниченное количество работ, в которых были бы представлены данные по реальному хранению информации на оптических носителях в течение длительного времени, где были бы приведены статистические данные о количестве деградировавших носителей. К тому же имеющиеся работы были выполнены порядка 10 лет назад и ранее и посвящены носителям типа CD-R, иногда DVD-R, но работ посвящённых носителям типа BD-R почти не встречается.

Обычно при обосновании выбора оптических дисков в качестве носителей информации ссылаются на работу [1], в которой на основании исследований по ускоренному старению нескольких партий оптических дисков был сделан вывод о том, что срок службы оптических носителей информации в настоящее время составляет порядка 30 лет, что в несколько раз превосходит аналогичные сроки для жёстких дисков и магнитных лент. Однако для расчёта вероятности деградации носителей информации при длительном хранении этот параметр (срок службы) использовать невозможно.

Между тем, в приложении к работе [1] присутствует некоторая информация о методике, процессе и результатах ускоренного тестирования, на основании которой и сделано заключение о сроке службы. Попробуем на её основе оценить значение параметра q .

В самой работе [1] выполнялось тестирование носителей типов CD-R и DVD-R. При этом авторы работы указывают, что речь идёт о выборках из конкретных партий носителей, и полученные результаты действительны только для этих партий. Они подчёркивают, что для новых партий носителей для оценки их качества и предполагаемого срока службы необходимы повторные тесты, аналогичные выполненным в работе.

Соответственно, разработка методики оценки значения q по результатам таких тестов представляется важной.

Метод ускоренного тестирования, применённый в работе [1], основывается на воздействии на диски каждой выборки повышенной температуры и влажности. При этом через определённые промежутки времени этого воздействия выполняется контроль дисков на количество появившихся на них дефектов записи. Задавшись предельным значением дефектов, после которого диск считается нечитабельным, определяют количество дисков, вышедших из строя после очередного этапа испытаний, что в итоге даёт также время испытаний, в течение которого эти диски деградировали.

После деградации всех дисков в исследуемой выборке определяют медианное время деградации (то есть, время, в течение которого деградировало 50 % дисков в выборке). Полученное время вместе с данными по температуре и влажности подставляют в формулу Эйрлинга и вычисляют его коэффициенты. Далее, используя

вычисленные коэффициенты для нормальных значений температуры и влажности, определяют медианное расчётное время деградации дисков при нормальных условиях и, имея экспериментальное время деградации при заданных повышенных значениях температуры и влажности, а также расчётное время деградации при нормальных условиях, находят коэффициент ускоренной деградации.

Далее с помощью полученного коэффициента пересчитывают время деградации каждого диска из экспериментальной выборки к нормальным условиям. После несложной обработки получают медианное время деградации дисков, которое и считают временем службы дисков (то есть, в соответствии с методикой за это время половина дисков в реальности должна выйти из строя). Одновременно по той же выборке вычисляют стандартное отклонение медианного времени.

Надо заметить, что авторы методики, обрабатывая полученные данные, показали, что процесс деградации дисков во времени можно считать линейным. Он достаточно хорошо аппроксимируется полиномом первой степени, что видно на приведённых в работе графиках.

Таким образом, если для какой-либо конкретной выборки конкретной партии оптических дисков проведены подобные ускоренные тесты и получено время службы, например, 25 лет, то это означает, что к этому времени будет потеряно 50 % дисков, что позволяет сделать предположение, что за 1 год будет потеряно 2 % дисков, то есть можно принять $q = 0,02$.

Авторы исследования [1] делают ещё один шаг в обработке данных и заявляют, что с использованием вычисленного ранее стандартного отклонения и количества дисков в выборке вычисляют время, за которое с вероятностью 95 % будет потеряно только 5 % дисков. К сожалению, они довольно плохо комментируют свои действия, а в приведённом примере расчёта появляются необъяснимые цифры. В конечном итоге они получают, что для рассматриваемой выборки 5 % дисков будет потеряно примерно за 10 лет.

Исходя из этого и считая процесс деградации линейным, можно принять, что за 1 год будет потеряно 0,5 % дисков, то есть с вероятностью 95 % $q = 0,005$.

Обе полученные здесь оценки близки к оценкам параметра q , полученным автором в собственных исследованиях на дисках, находившихся на хранении в течение нескольких лет [2].

Список литературы

1. Zheng J., Slattery O. T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. 2007. 32 p.
2. Чернышов А. В. Определение значения вероятности выхода из строя однократно записываемого оптического диска с записью в процессе хранения в долговременном архиве // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 4. С. 82–87. doi: 10.18698/2542-1468-2019-4-82-87

8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 004.9:378.147

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ОПРОСА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Павел Анатольевич Гудков¹,
Екатерина Михайловна Подмарькова²

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹p.a.gudkov@pnzgu.ru

²kalibryk.m@gmail.com

Аннотация. Разработана концепция системы для автоматизированного экспресс-опроса, устраняющая недостатки традиционного тестирования. Преподаватель устно формулирует вопросы, а студент выбирает ответ через веб-страницу на своем устройстве. Данный подход сочетает минимальные затраты на подготовку теста с возможностью охвата всей аудитории.

Ключевые слова: экспресс-опрос, автоматизированный контроль знаний, тестирование

CONCEPT DESIGN FOR A RAPID STUDENT POLLING SYSTEM

Paul A. Gudkov¹, Catherine M. Podmarkova²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹p.a.gudkov@pnzgu.ru

²kalibryk.m@gmail.com

Abstract. A concept for an automated rapid student polling system has been developed that overcomes the lacks of traditional testing. The teacher formulates questions verbally, and students select answers via a web page on their devices. This approach combines minimal test preparation costs with the ability to reach the entire audience.

Keywords: rapid student polling, automated knowledge control, testing

Как показывает опыт преподавания технических дисциплин в высшей школе, средства традиционного тестирования студентов не позволяют быстро и адекватно оценивать уровень их знаний. При обычном тестировании преподаватель тратит много времени на формирование вопросов теста и на организацию самого теста. С другой стороны, при проведении устного опроса охват аудитории невелик – можно выборочно проверить знания лишь у нескольких человек.

Поэтому авторы предлагают использовать нечто среднее – автоматизированный вариант экспресс-опроса, который позволит объединить преимущества первого и второго подходов [1, 2].

Суть предлагаемого подхода заключается в следующем. Преподаватель, например, в начале лекции, устно формулирует вопросы, на которые студенту необходимо дать ответ. Устная форма заданий позволяет существенно сократить время на подготовку теста, а также легко менять и обновлять базу вопросов. Студенту же необходимо на web-странице опроса выбрать вариант ответа (рис. 1). Данный вариант организации опроса в настоящее время стал возможен благодаря тому, что практически у каждого студента есть телефон с доступом в интернет (либо локальную сеть образовательного учреждения).

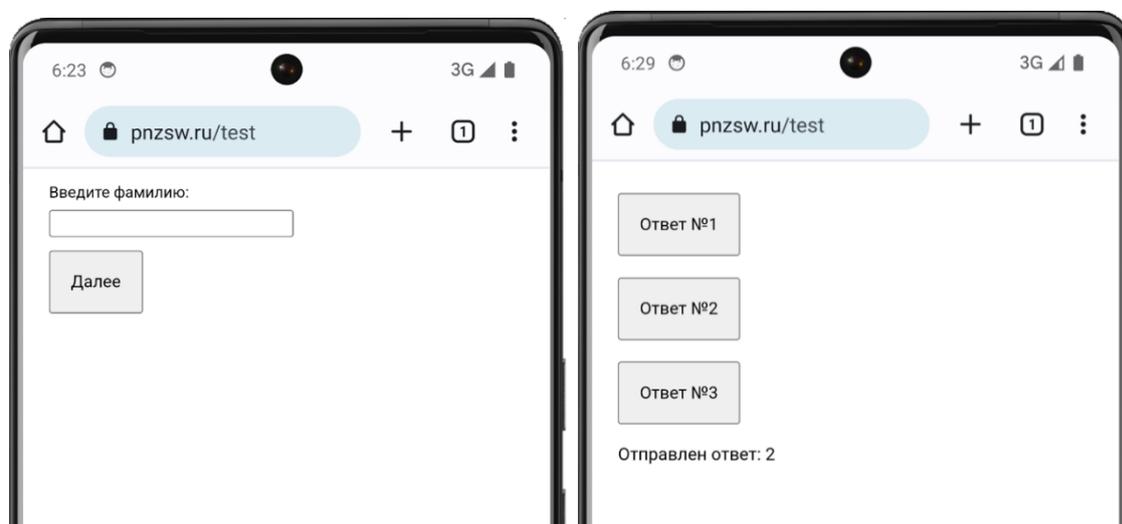


Рис. 1. Интерфейс клиентской части выбора варианта ответа

Для сбора статистики прохождения опроса можно использовать различные приложения (веб-приложение, мобильное прило-

жение). Это позволит, во-первых, существенно увеличить охват аудитории и, во-вторых, сократить время на обработку результатов тестирования – преподаватель в реальном времени может оценивать уровень подготовки студентов.

При выполнении анализа собранных в ходе экспресс-опроса данных можно учитывать не только варианты ответов студентов, но и время их реакции при ответе. Это позволит более точно подвести итог и сформировать интегральную оценку текущего уровня знаний обучающихся.

Авторами разработан интерфейс взаимодействия отдельных компонентов системы, представленный на рис. 2.

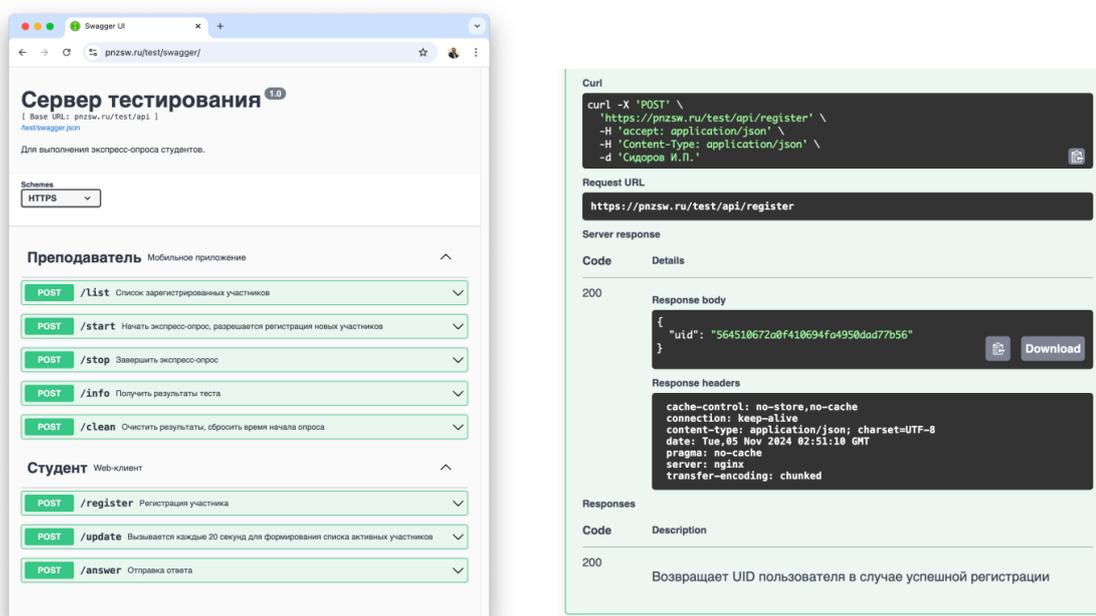


Рис. 2. Разработанное API клиент-серверного взаимодействия

В качестве средства документирования выбран Swagger, предоставляющий возможность не только описания взаимодействия компонентов системы, но и выполнения отдельных запросов прямо на странице документа.

Алгоритм проведения экспресс-опроса:

1. Преподаватель начинает работу в приложении с запуска тестирования, вызвав метод /api/start – после чего обучающиеся могут открыть на телефоне страницу опроса и ввести фамилию для идентификации (рис. 1).

2. Преподаватель озвучивает вопрос или задачу, засекая в приложении время начала решения.

3. Обучающиеся выбирают один из вариантов, а преподаватель в реальном времени отслеживает ход опроса.

4. Метод `/api/clean` служит для разделения одного вопроса от другого.

5. По завершении опроса вызывается метод `/api/stop`.

Представленный алгоритм даёт возможность преподавателю использовать экспресс-опрос в качестве гибкого и эффективного инструмента организации учебного процесса [3,4]. Преподаватель уже не привязан к ранее разработанным тестам, как это бывает при классической организации тестирования. Он может менять их «на ходу», выполняя не только проверку усвоения материала по конкретной теме, но и планируя занятия для диагностики «слабых мест» студентов или корректировки читаемого курса лекций. Эти возможности позволяют преподавателю адаптировать содержание и форму занятий под реальный уровень подготовки аудитории.

Таким образом, предлагаемая авторами концепция системы проведения экспресс-опроса обучающихся является стратегическим инструментом превращения пассивного контроля знаний студентов в активный процесс управления обучением, делая его более целенаправленным и персонализированным [5].

Список литературы

1. Абрамова О. К. Классификация и характеристика видов дистанционного тестирования // Вестник науки. 2023. № 6 (63). С. 210–215.

2. Малова Н. В. Экспресс-опрос в смешанной модели обучения: задачи, методы и средства проведения // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2020. Т. 9, № 4 (33). С. 174–176.

3. Донская Е. Ю. Тестирование как неотъемлемая часть системы дистанционного обучения в высшей школе // Мир науки. Педагогика и психология. 2020. № 1. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/67PDMN120.pdf>

4. Сафиулин Р. З. Развитие технологий тестирования в образовании // Управление образованием: теория и практика. 2015. № 1 (17). С. 139–139.

5. Богословский В. И., Бусыгина А. Л., Аниськин В. Н. Концептуальные основы высшего образования в условиях цифровой экономики // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8, № 1 (26). С. 223–230.

**РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ОБУЧЕННОСТИ СТУДЕНТА
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ НА ПРИМЕРЕ
ОСВОЕНИЯ ТЕМЫ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ»**

**Татьяна Юрьевна Леонова¹
Максим Александрович Митрохин²**

^{1,2}Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹Tank_81@bk.ru

Аннотация. Раскрыта целесообразность использования нейронных сетей при изучении высшей математики в вузе. Приводятся примерные задания разной сложности для определения уровня знаний студентов при изучении темы «Дифференциальные уравнения». Перечислены этапы разработки и внедрения нейронной сети и указано ее дальнейшее применение.

Ключевые слова: дифференцированное обучение математике в вузе, дифференциальные уравнения, нейронные сети

**DEVELOPMENT OF A NEURAL NETWORK MODEL
TO DETERMINE THE LEVEL OF STUDENT LEARNING
IN HIGHER MATHEMATICS ON THE EXAMPLE OF STUDYING
THE TOPIC "DIFFERENTIAL EQUATIONS"**

Tatiana Y. Leonova¹, Maksim A. Mitrokhin²

^{1,2}Penza State University, Penza, Russia

¹Tank_81@bk.ru

Abstract. The feasibility of using neural networks in teaching higher mathematics at university is explored. Sample assignments of varying difficulty are provided to assess students' knowledge of the topic "Differential Equations." The stages of neural network development and implementation, as well as its subsequent applications, are outlined.

Keywords: differentiated learning in higher education mathematics, differential equations, neural networks

Конечным результатом освоения той или иной дисциплины в университете является подготовка студента к практической реализации своих знаний, чтобы обучаемый мог легко приспособиться к новым условиям.

сабливаться к стремительным изменениям, происходящим в мире. Весь акцент процесса обучения должен быть смещен на развитие логической, мыслительной, познавательной, творческой, исследовательской деятельности студента.

Для решения данной проблемы целесообразно в процесс обучения вводить новые технологии, например, внедрять технические достижения при дифференцированном подходе. Было решено использовать возможности искусственного интеллекта для определения уровня знаний студентов для дальнейшей активации познавательной и умственной деятельности обучаемых.

Определим целесообразность использования нейронных сетей при изучении высшей математики в вузе на примере изучения темы «Дифференциальные уравнения»:

- исследование некоторых математических моделей, например, при решении дифференциальных уравнений второго порядка, важных для формирования «нелинейного» мышления инженера;

- решение дифференциальных уравнений включает в себя не только знание методов их решения, но и знание методов интегрирования;

- ограниченность времени на изучение всех видов дифференциальных уравнений, имеющих широкое прикладное значение;

- в процессе изучения дисциплины студенту важно видеть связь между лекционным и практическим материалом, а также со своей будущей профессией. Это многократно повышает мотивацию студента к учебе и развивает творческое мышление;

- решение дифференциальных уравнений развивает умение исследования математических моделей, что позволяет изучать реальные явления в целом, предсказывать их развитие, делать количественные оценки измерений.

Для практической реализации проводимого исследования создается система, которая после тестирования студентов, проводимого с целью выявления уровня их обученности, будет делить группу на подгруппы различного уровня обученности. Далее после проведения методических мероприятий со студентами, направленных на приобретение ими знаний и повышение познавательной деятельности, будет проводиться повторное тестирование для определения положительной динамики в приобретении знаний.

Возможные этапы использования нейронных сетей при изучении какого-либо раздела высшей математики:

- тестирование для определения уровня математических способностей студента;

- при возникновении проблем с решением задач, нейронная сеть выдает комментарии для устранения пробелов в знаниях;
- для освоения требуемой темы студенту предлагается набор заданий в соответствии с его уровнем знаний;
- при желании студента повысить свой уровень знаний по изучаемой теме, ему предлагается задания на уровень выше, также с появляющимися комментариями для устранения пробелов в знаниях.

Пример набора заданий разного уровня при изучении темы «Дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными» [1–3].

Уровень 1.

Задание: решить дифференциальное уравнение, найти общее решение.

$$x \cdot y' - y = 0, x \cdot y' + y = 0, y \cdot y' + x = 0.$$

Задание: решить дифференциальное уравнение, найти общее и частное решения, удовлетворяющее начальным условиям.

$$2y' \cdot \sqrt{x} = y, y(4) = 1, y' = (2y + 1) \cdot \operatorname{ctgx} y \left(\frac{\pi}{4} \right) = \frac{1}{2}$$

$$x^2 y' + y^2 = 0, y(-1) = 1.$$

Уровень 2.

Задание: решить дифференциальное уравнение, найти общее решение.

$$y' + \sqrt{\frac{1-y^2}{1-x^2}} = 0, \sqrt{1-y^2} dx + y\sqrt{1-x^2} dy = 0, e^{-s} \cdot \left(1 + \frac{ds}{dt} \right) = 1$$

Задание: решить дифференциальное уравнение, найти общее и частное решение, удовлетворяющее начальным условиям.

$$y - xy' = b \cdot (1 + x^2 \cdot y'), y(1) = 1,$$

$$x^2(y^2 + 5) + y^2(x^2 + 5) \cdot y' = 0, y \left(\frac{\pi}{2} \right) = 0,$$

$$\frac{dy}{dx} + (2y + 1) \cdot \operatorname{ctgx} = 0, y \left(\frac{\pi}{2} \right) = 0.$$

Уровень 3.

Задание: решить дифференциальное уравнение, найти общее решение.

– вывести зависимость $U(t)$ на обкладках конденсатора при его разрядке в RC-цепи;

– найти массу радиоактивного вещества спустя время равное четырем периодам полураспада, если начальная масса составляет 64 г;

– найти линию, проходящую через точку (2, 3) и обладающую свойством: отрезок любой ее касательной, заключенной между координатными осями, делится пополам в точке касания.

После проведенного тестирования были получены и обработаны данные студентов, представленные в табл. 1, чтобы на их основе создать обучающую и тестируемую выборки для обучения нейронной сети.

Таблица 1

Распределение уровней обученности

Уровень обученности	Время решения задачи, мин	Количество ошибок
Удовлетворительный light	Сложный уровень 19–21 Средний уровень 14–18 Низкий уровень 10–12	0–2
Достаточный middle	Сложный уровень 10–15 Средний уровень 8–10 Низкий уровень 5–7	0–2
Продвинутый hard	Сложный уровень 7–10 Средний уровень 3–5 Низкий уровень 1–3	0–2

После того, как данные будут загружены, их необходимо предварительно обработать. Это включает нормализацию данных и преобразование их в допустимый формат.

Нормализация является важным этапом предварительной обработки данных, включающим масштабирование данных таким образом, чтобы они имели среднее значение 0 и стандартное отклонение равное 1. Это способствует более эффективному обучению на основе данных.

После этого данные делятся на обучающий и тестовый наборы, используемые для обучения модели и оценки ее производительности [4].

После подготовки данных можно приступить к созданию модели – определению сетевой архитектуры и обучению модели.

В качестве модели будем использовать многослойные нейронные сети прямого распространения, так как они больше всего подходят для решения задач, связанных с анализом табличных данных.

Для создания, обучения и дальнейшего использования нейронной сети для определения уровня знаний студентов выбран фреймворк PyTorch.

Заранее подготовленные данные загружаются в PyTorch с помощью одной из утилит загрузки, проходят предварительную обработку и разделяются на обучающий и тестовый наборы.

Для построения нейронной сети с сетевой архитектурой в PyTorch создается класс путем наследования от `.torch.nn.Module`, который будет определять уровни сети с помощью различных модулей фреймворка.

После этого производится обучение модели путем многократного выполнения циклов обучения с использованием функции потерь и оптимизатора.

Функция потерь вычисляет (измеряет) разницу между прогнозируемым и фактическим значениями. PyTorch предоставляет несколько функций потерь в модуле `torch.nn` (например, `.torch.nn.MSELoss`, `torch.nn.CrossEntropyLoss`).

Оптимизатор выполняет обновление весовых коэффициентов и смещений модели во время обучения. PyTorch предоставляет несколько оптимизаторов (например, `.torch.optim.Adam`, `torch.optim.SGD`).

Цикл обучения включает в себя итерацию обучающих данных и обновление весовых коэффициентов модели с помощью оптимизатора. После каждой эпохи модель оценивается на тестовых данных для измерения ее производительности.

После обучения модель можем использовать для прогнозирования результатов на основе новых данных.

Список литературы

1. Курош А. Г. Курс высшей алгебры. М., 2013.
2. Плис А. И., Сливина Н. А. MathCAD 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2002. 656 с.
3. Терешина Т. Н. Изучение начал математического анализа в условиях дифференциации учебного процесса в средней школе : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02. М., 2004.
4. Аггарвал Ч. Нейронные сети и глубокое обучение. СПб. : Диалектика, 2020. 752 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ФРЕЙМВОРКА DJANGO

Евгений Романович Майоров¹,
Ксения Михайловна Демушкина²

¹Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

²АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», г. Пенза, Россия

¹jeniamayorov@yandex.ru

²riabova.ksenija@yandex.ru

Аннотация. Исследуется актуальная проблема цифровой трансформации сферы образования – автоматизации рутинных образовательных отчетов. Рассматриваются существующие бизнес-процессы в образовательном учреждении, а также исследуется возможность их автоматизации. В качестве инструментов автоматизации предлагается использовать высокоуровневый фреймворк Django, который обеспечит разработку образовательного интернет-порта в соответствии с требованиями, предъявляемыми к подобным ресурсам.

Ключевые слова: автоматизация, бизнес-процессы, образовательное учреждение, Django, веб-приложение, информационная система

AUTOMATION OF BUSINESS PROCESSES IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION USING THE DJANGO FRAMEWORK

Evgeny R. Mayorov¹, Xenia M. Demushkina²

¹Penza State University, Penza, Russia

²JSC « Research and production enterprise "Rubin"», Penza, Russia

¹jeniamayorov@yandex.ru

²riabova.ksenija@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the actual problem of digital transformation of the education sphere – automation of routine educational reports. The existing business processes in an educational institution are considered, and the

possibility of their automation is investigated. As automation tools, it is proposed to use the high-level Django framework, which will ensure the development of an educational Internet port in accordance with the requirements for such resources.

Keywords: automation, business processes, educational institution, Django, web application, information system

Современная система образования ежедневно сталкивается с рядом сложностей: постоянный рост числа учащихся, снижение числа преподавателей, увеличение объема административных задач, ужесточение требований к отчетности и необходимость предоставления качественных образовательных услуг в условиях ограниченных ресурсов. В этой связи цифровая трансформация и автоматизация административных задач необходима для обеспечения конкурентоспособности и эффективности образовательных учреждений [1].

Актуальность темы автоматизации в образовании подтверждается на государственном уровне в рамках реализации федеральных проектов «Цифровая образовательная среда» и «Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации"», которые делают акцент на внедрении цифровых технологий в управление учебными заведениями [2]. Ручная обработка данных, характерная для традиционных методов управления (составление расписаний, ведение журналов успеваемости, учет контингента, формирование отчетности), не только крайне трудоемка, но и сопряжена с высоким риском человеческих ошибок, что напрямую влияет на качество принимаемых управленческих решений [3]. Таким образом, проблема эффективного управления большими массивами данных остается чрезвычайно актуальной, а ее решение лежит в плоскости автоматизации рутинных бюрократических процессов.

Ключевым элементом для анализа и последующей автоматизации является формализация деятельности учреждения. В качестве основы для проектирования информационной системы была разработана контекстная диаграмма, центральным элементом которой выступает обобщенный бизнес-процесс «Деятельность общеобразовательной организации» (рис. 1). Контекстная диаграмма позволит визуализировать взаимодействие системы с внешними элементами.

Входные данные процесса: сведения об учениках, учителях, учебных предметах и перечень дополнительных занятий.

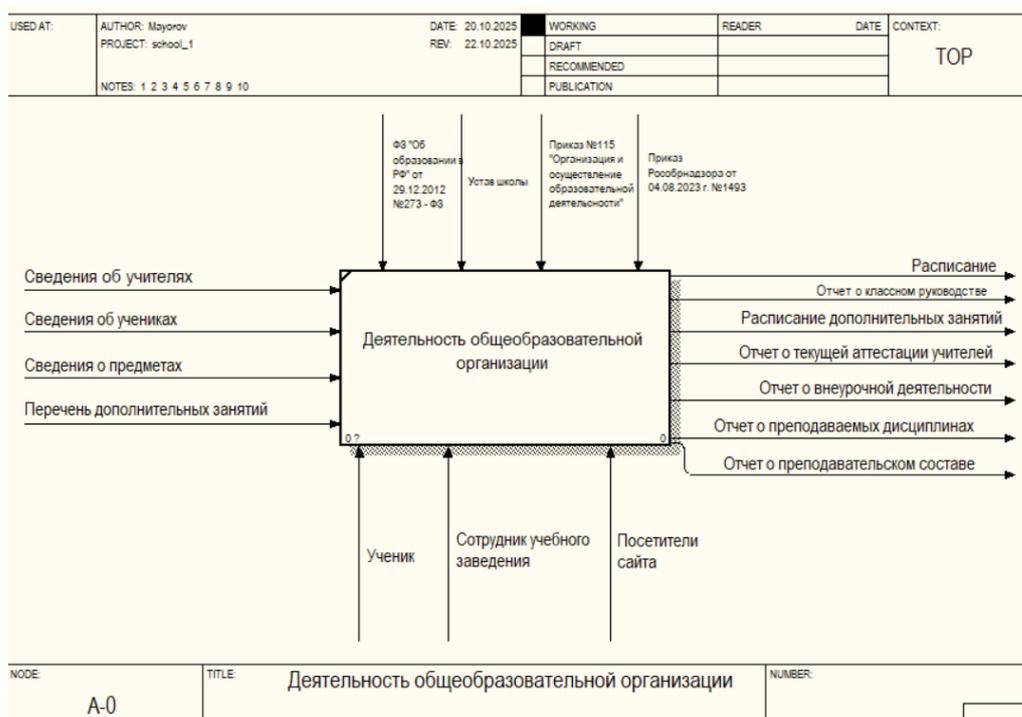


Рис. 1. Контекстная диаграмма

Выходные данные (результаты):

- расписание уроков и дополнительных занятий;
- отчет о классном руководстве (список классных руководителей);
- отчет о текущей аттестации учителей (перечень педагогов, которым необходимо пройти аттестацию в текущем учебном году);
- отчет о внеурочной деятельности (информация о классе и его дополнительных занятиях);
- отчет о преподаваемых дисциплинах (класс и список его учителей-предметников);
- отчет о преподавательском составе (полная информация об учителях).

Управление процессом осуществляется в соответствии с законодательными и нормативными документами: Федеральный закон «Об образовании в РФ» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ, Устав школы, Приказ № 115 «Организация и осуществление образовательной деятельности», Приказ Рособрнадзора от 04.08.2023 г. № 1493.

Исполнители процесса: ученики, сотрудники учебного заведения, а также посетители информационного портала.

Стоит отметить, что не все существующие в образовательных учреждениях документы могут быть формализованы, для формализации более сложных отчетов, потребуется время и алгоритм их формализации.

Автоматизация описанного бизнес-процесса будет реализована с использованием фреймворка Django. Преимущество Django состоит в его встроенном компоненте ORM (Object-Relational Mapping), который позволяет взаимодействовать с базой данных без знания SQL, а также наличие автоматизированной панели администратора в Django значительно ускоряет разработку [4]. Для удобного представления итоговых отчетов в структурированном виде планируется использовать библиотеки для генерации Excel-файлов (например, *openpyxl*), а также инструменты для парсинга и веб-скрейпинга, такие как *Beautiful Soup*, для обработки и импорта внешних данных при необходимости [5].

Таким образом, фреймворк Django позволит разработать веб-приложение для автоматизации рутинных отчетов в образовательном учреждении за счет использования встроенных инструментов: ORM, панель администратора, а также библиотек, которые обеспечивают взаимодействие с привычным инструментом MS Excel. Разработка подобного веб-приложения снизит бюрократическую нагрузку на преподавателей, обеспечив легкий доступ к генерации повседневных отчетов.

Список литературы

1. Андреев А. В. Цифровая трансформация образования: вызовы и перспективы // Информационные технологии в образовании. 2021. № 4 (45). С. 44-52.
2. Паспорт национального проекта «Образование» (утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол № 16 от 24.12.2018). URL: <https://edu.gov.ru/national-project/> (дата обращения: 19.10.2025).
3. Петрова К. А., Иванов С. М. Управление качеством образования на основе информационных систем // Университетское управление: практика и анализ. 2020. Т. 24, № 1. С. 110–121.
4. Django Software Foundation. Django Documentation 2023. URL: <https://docs.djangoproject.com/en/stable/> (дата обращения: 21.10.2025).
5. Beautiful Soup Documentation. URL: <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/> (дата обращения: 21.10.2025).

СОДЕРЖАНИЕ

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ РЕКТОРА ПЕНЗЕНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА НИКОЛАЯ ПЕТРОВИЧА СЕРГЕЕВА.....	3
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – 80 ЛЕТ ПОБЕДЫ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ.....	6

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА

Дюндяева А. А., Пичаев А. А. О РАСПРОСТРАНЕНИИ ДВУХ ТЕ-ВОЛН В ПЛОСКОМ СЛОЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДОЙ.....	8
Медведик М. Ю., Гусева Е. В. МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ВОЛНОВОДЕ, ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ	14
Петрунина Е. В., Ермаков Д. А., Скворцов М. К. МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ В БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ ПАЦИЕНТА, ОСНОВАННЫЕ НА СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ КАРДИОСИГНАЛА В ДИНАМИЧЕСКИХ ОКНАХ	19
Тихов С. В., Кондырев О. В. О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТЕ- И ТМ-ВОЛН, СВЯЗАННЫХ УСЛОВИЕМ НА ГРАНИЦЕ, В ПЛОСКОМ ВОЛНОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДОЙ.....	25
Яремко О. Э., Парфенова В. А. МАТРИЧНОЕ ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА ДЛЯ СИСТЕМ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯМИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ	30
Яремко О. Э., Яремко Н. Н. ОПЕРАТОР ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ДВУХСЛОЙНОЙ НЕОГРАНИЧЕННОЙ СРЕДЕ	36

2. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Жданович Г. Э., Мельников Д. А., Терехин М. А., Иващенко А. В. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ДАТАСЕТОВ ДЛЯ СИСТЕМ МЕДИЦИНСКОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	41
---	----

Мацкевич В. В. ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	47
Манцурова Е. Н. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	56
Никулин Д. С., Пикулин В. В. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СЕТЕВЫХ ПАКЕТОВ.....	61
Усатов А. А., Недзьведь А. М., Белоцерковский А. М. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ АЛГОРИТМОВ	68
Хрящев В. В., Ганин А. Н., Волков Д. Б., Назаровский А. Е. ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ДООБУЧЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ.....	74

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Бородин Д. В., Пруцков А. В. ПОДХОДЫ К ГЕНЕРАЦИИ ПРОГРАММ БОЛЬШИМИ ЯЗЫКОВЫМИ МОДЕЛЯМИ.....	79
Перфильев О. В., Корепин И. Н. ПЕРЕХОД ОТ DOCX К DOCS-AS-CODE: ГЛУБИННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	85

4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Антонов К. Р., Макаров Д. А., Липатников Д. Г., Питиков Е. А. ОСОБЕННОСТИ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ OPENCV.....	92
Бузенков И. И., Редькин Ю. В., Пакшина Е. Р. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО СЕТЯМ WLAN В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ ОТ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	98
Величко И. С., Беззатеев С. В. ЗАЩИТА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ОТ ГРАДИЕНТНЫХ АТАК НА ВЕСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LORA И VRF	104
Жилин И. А., Коробков С. В., Кузьмин А. А., Пученков К. И. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОСОБЫХ ТОЧЕК НА СНИМКАХ ВИДЕОРЯДА	108

Киреев Н. А., Антонов К. Р., Дрождин В. В. СИСТЕМА ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ОТ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ.....	113
Косников Ю. Н., Абубекеров Д. Р. ВЫБОР СМЕШИВАЮЩИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ СЕЧЕНИЙ	118
Редькин Ю. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LEO-СИСТЕМ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА К МОРСКИМ СУДАМ.....	130
Сенников А. В., Ларионов Р. В., Сидоров Н. А., Хрящев В. В. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ SAR-ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	136

5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ

Аоди Д., Недзьведь А. М. ОЦЕНКА ПОЗЫ ОТ 2D К 3D И МОДЕЛИРОВАНИЕ СКЕЛЕТНОЙ ТОПОЛОГИИ, ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В АНАЛИЗЕ ДВИЖЕНИЙ ПРИ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА.....	141
Грибков Д. Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИФУРКАЦИЙ ВЕНЕЧНЫХ АРТЕРИЙ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ПОДХОДОВ	148
Dorđević F., Petrović N., Vojanić M., Vorojević S. TRAIL MAKING EXPERIMENT RESPONDENT SOFTWARE MODULE	157
Захаров А. В., Мельникова Д. Д. ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ АПНОЭ СНА ПО АУДИОСИГНАЛУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАСКАДНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.....	164
Захаров А. В., Щепетов А. О. АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТАДИЙ СНА ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИБРИДНОЙ CNN-ТРАНСФОРМЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ.....	169
Котов Н. В., Ганин А. Н., Волков Д. Б., Назаровский А. Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ АНАЛИЗА КОЛОНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	174
Кривоногов Л. Ю., Улыбина Д. В. ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	179

Petrović N., Đorđević F., Bojanić M., Borojević S. EDUCATIONAL PLATFORM FOR MACHINE LEARNING REGRESSION OF REACTION TIME BASED ON ELECTROENCEPHALOGRAM FEATURES.....	185
Поляков Е. В., Дмитриева В. В., Дорошин С. Ю., Филатова Н. А., Шувалова Е. В., Колбацкая О. П., Дюмин А. А., Климанов И. А. СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ЗАКЛЮЧЕНИЯ В ОНКОГЕМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ: РАСШИРЕНИЕ КЛАССОВ, МАСШТАБИРОВАНИЕ ДАННЫХ И ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДИКИ	192
Радаев Д. Е., Ераскина А. Е., Терехин М. А., Иващенко А. В. ИНТЕГРАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ	199
Адамова А. В. ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И НОРМАЛИЗАЦИИ СИГНАЛОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ	204

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Джумаев А. Я., Халиулин Р. А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ СЕТЕВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ.....	208
Захарова О. И. ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ	214
Смолев А. М., Головнин О. К. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДРЕСНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ.....	220
Томакова Р. А., Корсунский Н. А., Старцев Е. А. МУЛЬТИПЛЕКСОР ДЛЯ БИОИМПЕДАНСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ....	226

7. ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИКИ

Алимов Д. А., Рындина С. В. СЕРВИСЫ РЕАБИЛИТАЦИОННОГО ФИТНЕСА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАВМ: СОВРЕМЕННЫЕ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ РАЗВИТИЕ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	230
Батерякова С. Д. ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ БУХУЧЕТА В РОССИИ	236

Герасина Я. Н. ЦИФРОВОЙ ПОМОЩНИК ДЛЯ СЕМЕЙНОГО БИЗНЕСА НА ПРИМЕРЕ ЗАВЕДЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ	240
Ефанов С. В., Иванова Е. Н. МОДУЛЬ ПРЕДОБРАБОТКИ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ГИБКОГО КЛАССИФИКАТОРА.....	244
Кац Р. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ПРИМИТИВОВ В КРИПТОВАЛЮТЕ.....	248
Климова Д. Н., Нижегородова К. А. ВЛИЯНИЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ, НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ, СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ	255
Колесников Д. В. КОГНИТИВНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА УМНЫХ ГОРОДОВ	260
Крупа С. А. АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	264
Лобков Д. С., Масленников А. А. ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПЦИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ АНТИФРОД-СИСТЕМЫ	268
Мельник О. В., Бабаев С. И., Сараев М. Н. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ДЕСКРИПТОРОВ ГАРМОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ РЕЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ	275
Мосиенко А. Г. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СИСТЕМНОМУ АДМИНИСТРИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ.....	281
Резван А. Е. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ, АНАЛИЗ БОЛЬШИХ ДАННЫХ, НЕЙРОННЫЕ СЕТИ	286
Салазкина А. А. ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МУЗЫКАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	291
Суркин М. Ю., Тычинин К. В., Усманова И. В. АВТОМАТИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ И УЧЕТА РАСХОДА ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ	296

Суркин М. Ю., Усманова И. В., Ханжин Е. В. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ.....	301
Толмач А. Н., Рындина С. В. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ФИТНЕС- ИНДУСТРИИ: СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИЗНЕСА	306
Хомякова Н. И., Масленников А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ В БАНКОВСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	311
Чекина Е. В., Головнин О. К. МЕТОДИКА ТРАНСФОРМАЦИИ ДОРОЖНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.....	316
Чернышов А. В. К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИСКА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ВРЕМЕНИ СЛУЖБЫ.....	322

8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Гудков П. А., Подмарькова Е. М. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ОПРОСА ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	327
Леонова Т. Ю., Митрохин М. А. РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ОБУЧЕННОСТИ СТУДЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ НА ПРИМЕРЕ ОСВОЕНИЯ ТЕМЫ «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ».....	331
Майоров Е. Р., Демушкина К. М. АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ С ПОМОЩЬЮ ФРЕЙМВОРКА DJANGO	336

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ
В ОБРАЗОВАНИИ, УПРАВЛЕНИИ,
ЭКОНОМИКЕ И ТЕХНИКЕ

г. Пенза, 31 октября – 1 ноября 2025 г.

П о д р е д а к ц и е й
Кузьмина Андрея Викторовича,
Дрождина Владимира Викторовича

PROBLEMS OF COMPUTER SCIENCE IN EDUCATION,
MANAGEMENT, ECONOMY AND TECHNOLOGY

Penza, 31 October – 1 November, 2025

E d i t e d b y
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 *О. И. Жаровой*

Подписано в печать 12.12.2025.
Формат 60×84¹/₁₆. Усл. печ. л. 20,11.
Тираж 30. Заказ № 648.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru