

Труды НИИСИ

SRISA PROCEEDINGS

Москва, 2025



Федеральное государственное автономное учреждение «Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ)

ТРУДЫ НИИСИ

SRISA PROCEEDINGS

ТОМ 15 № 2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ:

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

МОСКВА
2025

Учредитель и издатель

Федеральное государственное автономное учреждение «Федеральный научный центр

Научно-исследовательский институт системных исследований

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

(НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ)

«Труды НИИСИ» — это рецензируемый научный журнал, в котором публикуются научные статьи по следующим специальностям и отраслям наук:

- 1.2.1. «Искусственный интеллект и машинное обучение» (физико-математические науки);
- 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (физико-математические и технические науки);
- 2.3.2. «Вычислительные системы и их элементы» (технические науки);
- 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» (технические науки);
- 2.3.5. «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» (физико-математические и технические науки).

Направления исследований, по которым журнал публикует оригинальные статьи определены, но не ограничены следующим перечнем: системный анализ; математика; математическое и компьютерное моделирование; задачи автоматизации и управления; обработка сигналов; компьютерное зрение и обработка изображений; распознавание образов; статистика; технологии искусственного интеллекта; информационные технологии; информационная безопасность; вычислительные системы и их элементы; микро- и наноэлектроника; высокопроизводительные вычисления; вопросы численного анализа; нейроморфные и мягкие вычисления; оптико-нейронные технологии; история науки, техники и персоналий. Журнал предназначен для научных сотрудников, инженеров и аспирантов, работающих в указанных направлениях исследований.

Миссия журнала — развитие перечисленных научных направлений в России и за рубежом, включая широкое освещение результатов исследований и обеспечение высококвалифицированных кадров печатными площадями, обеспечение высокого качества исследований путем развития механизма профессионального и общественного обсуждения научных результатов и воспитания молодого поколения ученых-исследователей.

Политика журнала ориентирована на пропаганду передовых научно-технических идей и решений в рамках развития важнейших наукоемких технологий и участия в реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. До 2025 года журнал издавался в печатном виде с названием «Труды НИИСИ РАН» (ISSN 2225-7349). В настоящее время сетевому рецензирующему научному журналу «Труды НИИСИ» присвоен ISSN 3033-6422.

Главный редактор

Бетелин Владимир Борисович, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор,
научный руководитель НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Заместители главного редактора

Крыжановский Борис Владимирович, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник центра оптико-нейронных технологий НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Шабанов Борис Михайлович, чл.-корр. РАН, д.т.н., доцент, руководитель отделения суперкомпьютерных систем и параллельных вычислений НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Члены редакционной коллегии

Аветисян Арутюн Иуханович, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, директор ИСП РАН, Москва

Панченко Владислав Яковлевич, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор,
вице-президент РАН, Москва

Савин Геннадий Иванович, академик РАН, д. ф.-м. н., профессор,
научный руководитель МСЦ — филиала НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Сигов Александр Сергеевич, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор,
президент РГУ МИРЭА, Москва

Бланк Владимир Давыдович, д.ф.-м.н., профессор,
и.о. директора НИЦ «Курчатовский институт» — ТИСНУМ, Троицк

Галкин Валерий Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор,
директор Сургутского филиала НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Сургут

Куклин Владимир Жанович, д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории автоматизации и управления технологическими процессами НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Леонов Александр Георгиевич, д.п.н., к.ф.-м.н., доцент,

ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительных методов механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Михайлюк Михаил Васильевич, д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник отдела программных средств визуализации НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Олейник Андрей Владимирович, д.т.н., профессор,

заместитель директора по стратегическому развитию ИКТИ РАН, Москва

Пархоменко Юрий Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель и профессор кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков НИТУ МИСиС, Москва

Редько Владимир Георгиевич, д.ф.-м.н., с.н.с., главный научный сотрудник центра оптико-нейронных технологий НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Смирнов Николай Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией волновых процессов механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Сотников Александр Николаевич, д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. отделения суперкомпьютерных систем и параллельных вычислений НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Шелепин Николай Алексеевич, д.т.н., профессор,

руководитель научного направления «Микроэлектроника» ИНМЭ РАН, Москва

Александров Ислам Александрович, к.т.н., доцент, заместитель директора по научной и методической работе НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Аряшев Сергей Иванович, к.т.н., заместитель директора по микроэлектронике и

вычислительным системам НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Годунов Александр Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с., заведующий отделом системного программирования НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Грюнталь Андрей Игоревич, к.ф.-м.н., заведующий отделом математического обеспечения НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Карандашев Яков Михайлович, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник центра оптико-нейронных технологий НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Куширенко Анатолий Георгиевич, к.ф.-м.н., доцент,

заведующий отделом учебной информатики НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Муранов Александр Николаевич, к.т.н., доцент, заведующий лабораторией автоматизации и управления технологическими процессами НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Петров Константин Александрович, к.т.н., старший научный сотрудник отдела архитектур высокопроизводительных микропроцессоров НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Семенов Илья Витальевич, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник отдела вычислительной математики НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Цимбалов Андрей Сергеевич, к.т.н., заместитель директора по микротехнологии

НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, Москва

Founder and Publisher

Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Center "Kurchatov Institute" (NRC "Kurchatov Institute" - SRISA)

SRISA Proceedings is a peer-reviewed journal that covers the following key areas of research:

- Artificial intelligence and machine learning
- System analysis, control, information processing, statistics
- Computing systems and their components
- Automation and control in manufacturing
- Mathematical and software support for computing systems, complexes and computer networks .

We publish original articles on topics including, but not limited to: system analysis; mathematics; computer simulation; automation and control; signal processing; computer vision and image processing; pattern recognition; statistics; artificial intelligence; information technologies; cybersecurity; computing

systems and their components; micro- and nanoelectronics; high-performance computing; numerical analysis; neuromorphic and soft computing; optoneural technologies; and the history of science, technology, and researchers. Our readers include researchers, engineers, and doctoral students.

Our mission is to advance these research areas in Russia and worldwide by publishing significant results and offering leading professionals a platform to share their work. We are committed to maintaining high research standards through professional and public review while fostering the next generation of researchers.

The journal's policy is to promote advanced research and innovative solutions, foster the development of high-tech fields, and contribute to key national priorities in science and technology. Until 2025, the journal was published in print as *Trudy NIISI RAN* (Proceedings of SRISA, Russian Academy of Sciences), ISSN 2225-7349. Currently, *SRISA Proceedings* online peer-reviewed journal has been assigned ISSN 3033-6422.

Chief Editor

Vladimir B. Betelin, member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Academic Director, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Deputy Chief Editor

Boris V. Kryzhanovsky, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Chief Researcher, Center for Optic-Neural Technologies, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Boris M. Shabanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Engineering), Assoc. Prof., Head of the Department of Supercomputer Systems and Parallel Computing, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow.

Editorial Board

Arutyun I. Avetisyan, member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Director of the Institute for System Programming, Russian Academy of Sciences, Moscow

Vladislav Ya. Panchenko, member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Vice-President of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Gennady I. Savin, member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Academic Director, JSC, a Branch of the NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Alexander S. Sigov, member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., President of the MIREA - Russian Technological University, Moscow

Vladimir D. Blank, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Acting Director, National Research Center Kurchatov Institute – Technological Institute for Superhard and Novel Carbon Materials, Troitsk

Valery A. Galkin, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Director, Surgut Branch of the NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Surgut

Vladimir Zh. Kuklin, Doctor of Science (Engineering), Assoc. Prof., Leading Researcher, Manufacturing Automation and Control Laboratory, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Alexander G. Leonov, Doctor of Science (Education), PhD (Phys&Math), Assoc. Prof., Leading Researcher of the Computational Methods Laboratory, School of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow

Mikhail V. Mikhailyuk, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Chief Researcher, Visualization Software Department, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Andrey V. Oleinik, Doctor of Science (Engineering), Prof., Deputy Director for Strategic Development, Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Yuri N. Parkhomenko, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Scientific Supervisor and Prof., Department of Materials Science for Semiconductors and Dielectrics, MISiS, Moscow

Vladimir G. Redko, Doctor of Science (Phys&Math), Senior Researcher, Chief Researcher, Center for Optic-Neural Technologies, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Nikolay N. Smirnov, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Head of the Wave Processes Laboratory, School of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow

Alexander N. Sotnikov, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., Head of the Department of Supercomputer Systems and Parallel Computing, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Nikolay A. Shelepin, Doctor of Science (Engineering), Prof., Microelectronics Research Advisor, Institute of Nanotechnology of Microelectronics, Russian Academy of Sciences, Moscow

Islam A. Alexandrov, PhD (Engineering), Assoc. Prof., Deputy Director for Research and Education, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Sergei I. Aryashev, PhD (Engineering), Deputy Director for Microelectronics and Computer Systems,
NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Alexander N. Godunov, PhD (Phys&Math), Senior Researcher, Head of the Department of
System Programming, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Andrei I. Griuntal, PhD (Phys&Math), Head of the Mathematics Department,
NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Yakov M. Karandashev, PhD (Phys&Math), Leading Researcher, Center for Optic-Neural Technologies,
NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Anatoly G. Kushnirenko, PhD (Phys&Math), Assoc. Prof., Head of IT for Education Department,
NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Alexander N. Muranov, PhD (Engineering), Assoc. Prof., Head of the Manufacturing Automation and
Control Laboratory, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Konstantin A. Petrov, PhD (Engineering), Senior Researcher, High Performance
Microprocessor Architectures Department, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Ilya V. Semenov, PhD (Phys&Math), Leading Researcher,
Department of Computational Mathematics, NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Andrey I. Tsimbalov, PhD (Engineering), Deputy Director for Microtechnology,
NRC "Kurchatov Institute" - SRISA, Moscow

Тематика номера:

Некоторые вопросы цифровизации технологических процессов, медицины и образования

The topic of the issue:

Digitalization in manufacturing, medicine, and education

СОДЕРЖАНИЕ

I. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ	
<i>А. Г. Леонов, Н. С. Мартынов, К. А. Мащенко, М. С. Паремузов, К. К. Пчелин, А. В. Шляхов.</i> Области применения больших языковых моделей для цифровых образовательных платформ.....	9
II. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА	
<i>Е. С. Лебедева, М. В. Райко, Т. В. Пряжникова.</i> Эксперименты с шаблоном программы в ЦОС ПиктоМир в курсе «Алгоритмика в начальной школе».....	16
<i>Ю. Н. Штейников.</i> К вопросу о количестве многочленов f девятой степени, задающих гиперэллиптическое поле с фундаментальной S -единицей степени 13 и периодическим разложением корня из f	22
III. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ	
<i>Н. Д. Байков, А. Н. Годунов.</i> Подход к реализации функциональных блоков спецификации PLCopen	27
<i>Н. Д. Байков, А. Н. Годунов.</i> An Approach to Implementing Functional Blocks of the PLCopen Specification	33
<i>С. Ю. Лукашенко, Т. И. Рубченко.</i> Информационная карта наблюдения пациенток с естественной и хирургической постменопаузой.....	38
IV. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ	
<i>А. Г. Леонов, К. А. Мащенко, Е. Ю. Тарасова.</i> Новая архитектура образовательных платформ в эпоху цифровой трансформации: парадигмы NoLMS и Smart LMS....	54

CONTENT

I. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING	
A. G. Leonov, N. S. Martynov, K. A. Mashchenko, M. S. Paremuzov, K. K. Pchelin, A. V. Shlyakhov. Applications of large language models for digital educational platforms	9
II. SYSTEM ANALYSIS, CONTROL, INFORMATION PROCESSING, STATISTICS	
E. S. Lebedeva, M. V. Rayko, T. V. Pryazhnikova. Experimenting With a Program Template in the PictoMir Digital Educational System During the Course «Algorithmics in Primary School»	16
Y. N. Shtenikov. On the Question of the Number of Polynomials f of Degree 9 Defining a Hyperelliptic Field with a Fundamental S -unit of Degree 13 and a Periodic Expansion of the square root of f	22
III. AUTOMATION AND CONTROL IN MANUFACTURING	
N. D. Baykov, A. N. Godunov. An Approach to Implementing Functional Blocks of the PLCopen Specification [<i>Original article in Rus.</i>]	27
N. D. Baikov, A. N. Godunov. An Approach to Implementing Functional Blocks of the PLCopen Specification	33
S. Yu. Lukashenko, T. I. Roubtchenko. Information Card of Postmenopausal Women with Natural and Surgical Postmenopause	38
IV. MATHEMATICAL AND SOFTWARE SUPPORT FOR COMPUTING SYSTEMS, COMPLEXES AND COMPUTER NETWORKS	
A. G. Leonov, K. A. Mashchenko, E. Y. Tarasova. NoLMS and Smart LMS: New Architecture of Educational Platforms in the Era of Digital Transformation	54

Области применения больших языковых моделей для цифровых образовательных платформ

А. Г. Леонов¹, Н. С. Мартынов², К. А. Машенко³, М. С. Паремузов⁴,
К. К. Пчелин⁵, А. В. Шляхов⁶

¹НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, МПГУ, Москва, Россия, Государственный университет управления, Москва, Россия, dr.l@vip.niisi.ru;

²НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, nikolai.martynov@math.msu.ru;

³НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, kirill.mashchenko@niisi.ru;

⁴НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, matveyparem@gmail.com;

⁵НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, k.pchelin@gmail.com;

⁶НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, shlyakhov@vip.niisi.ru;

Аннотация. В работе рассматриваются возможности применения больших языковых моделей (LLM) для повышения эффективности взаимодействия студентов и преподавателей в рамках цифровых образовательных платформ, включая апробацию этих моделей в условиях реального учебного процесса с использованием ЦОП Мирера. Анализируются современные state-of-the-art решения – YandexGPT, Mistral, Qwen, LLaMA и их модификации, а также особенности их архитектуры, производительности и возможностей адаптации под образовательные задачи. Показано, что корректная настройка параметров моделей позволяет эффективно использовать их для автоматизации рутинных операций, персонализации обучения и расширения инструментов преподавателя.

Ключевые слова: цифровая образовательная платформа, Мирера, большие языковые модели, искусственный интеллект, нейросетевые технологии, AI-агенты, LLM, персонализация обучения, автоматизация образовательных процессов, безопасность данных

1. Введение

Развитие компьютерных технологий и значительное увеличение вычислительных ресурсов в последние годы вывели на новый уровень возможности применения систем искусственного интеллекта (ИИ), в частности – больших языковых моделей (LLM), которые ранее рассматривались преимущественно как теоретическая концепция. Современные нейросетевые архитектуры всё активнее интегрируются в различные сферы деятельности, трансформируя традиционные процессы и создавая предпосылки для комплексной автоматизации.

Образовательная сфера стала одним из ключевых направлений практического внедрения ИИ. Сегодня наблюдается рост числа цифровых образовательных платформ и проектов, использующих LLM для поддержки учащихся и преподавателей, оптимизация процесса обучения и реформирование распределения нагрузки педагога для создания заданий, требующих высокого уровня

экспертизы [1]. Эти модели способны адаптироваться к индивидуальным особенностям обучающихся, предоставлять персонализированные рекомендации, обеспечивать интерактивность взаимодействия, что, в свою очередь, способствует более глубокому усвоению материала [2]. В дополнение LLM можно использовать для анализа и переработки авторских образовательных материалов, что помогает в подготовке новых учебных курсов и тестовых заданий, повышающих объективность оценки уровня знаний учащихся.

Таким образом, внедрение больших языковых моделей в образовательный процесс позволит решить широкий спектр задач: от персонализации обучения и автоматизации рутинных операций до интеллектуальной поддержки педагога при разработке курсов и оценивании успеваемости [3]. Последнее способствует повышению эффективности образовательной среды, в том числе: снижению административной нагрузки на преподавателей, развитию коммуникации в рамках учебного

процесса, обеспечению доступа студентов к ИИ-инструментам, способствующим более продуктивному и комфорtnому обучению и т.д.

Одновременно с цифровой трансформацией растёт внимание и к вопросам безопасности и этических аспектов применения ИИ [4]. Современные языковые модели проектируются с учётом минимизации рисков, связанных с предвзятостью, манипуляцией или генерацией нежелательного контента, что повышает доверенность к ним и дает надежду на успешность в использовании в образовательных целях.

Таким образом, интеграция больших языковых моделей в цифровое образование не только отражает ключевые тенденции технологического развития, но и открывает новые возможности для трансформации традиционных подходов к обучению в сторону большей гибкости, адаптивности и эффективности. Исследование и совершенствование этих технологий становится приоритетной задачей как для академической науки, так и для прикладных разработок.

Помимо аналитического рассмотрения, модели были апробированы в условиях реального учебного процесса с использованием ЦОП Мирера, что позволило сопоставить теоретические выводы с практическими результатами.

2. Обзор моделей и их архитектур

2.1 Критерии выбора модели для образовательной платформы

Выбор подходящей большой языковой модели (LLM) для внедрения в образовательную платформу является сложной многокритериальной задачей, требующей одновременного учёта большого набора факторов:

- производительности,
- требований к вычислительным ресурсам,
- качества генерации текстового контента,
- адаптируемости к различным предметным областям,
- аспектов безопасности,
- совокупной стоимости владения.

От выбора модели существенно зависят эффективность применения искусственного интеллекта в учебных процессах и устойчивость его работы в реальном образовательном процессе.

Одним из первичных факторов является вычислительная сложность модели, проявляющаяся в числе параметров, размере контекстного окна и требованиях к аппаратным

ресурсам. Многие образовательные организации не располагают серверами с графическими ускорителями, позволяющими запускать крупные модели. В таких условиях целесообразно выбирать либо облегчённые модели (7-8В параметров) в квантованных версиях [5] (с пониженной численной точностью хранения параметров), либо решения с внешним доступом через API, которые полностью нивелируют ограничения по собственным вычислительным ресурсам.

Локальное развёртывание обеспечивает значительно больший контроль над моделью, её интерфейсом и данными, что особенно важно для соблюдения требований законодательства о персональных данных пользователей. Вместе с тем такой подход потребует закупки (и/или) аренды вычислительных ресурсов необходимой производительности и наличие высоких технических компетенций специалистов поддержки для корректной настройки и надежной эксплуатации. Облачное (API) развёртывание снимает проблему собственной инфраструктуры, однако сопряжено с рисками передачи данных третьим сторонам и зависимостью системы от внешнего провайдера (стабильность подключения, тарифы, политика использования). Поэтому в учреждениях в качестве практического компромисса зачастую выступают гибридные решения, в которых чувствительные операции выполняются локально, а ресурсоёмкие – в облаке.

Архитектурные особенности моделей и состав обучающих наборов данных, на которых они обучались, в конечном итоге определяют пригодность для выполнения конкретных задач. Так, ориентированные на программный код модификации LLM (например, семейства Qwen и Mistral) демонстрируют более высокое качество в курсах по программированию и инженерных дисциплинах, где требуется генерация и верификация кода. В то же время с задачей проверки текстов на русском языке эффективнее справляются модели, обученные на широких русскоязычных корпусах данных.

Образовательные проекты существенно варьируются по требованиям к формам и методике учебного взаимодействия: одни курсы для заданий используют краткие регламентированные ответы, другие, напротив, базируются на аналитических рассуждениях. Поэтому важным критерием для выбора архитектуры становится способность модели быстро подстраиваться под разные сценарии использования (системные инструкции, параметры инференса, шаблоны подсказок) и наличие гибких интерфейсов системной интеграции.

Критерии выбора модели для образовательной платформы можно условно разделить на технические (аппаратные требования, масштабируемость, архитектура) и прикладные (соответствие предметной области, безопасность, стоимость, гибкость внедрения).

В совокупности рассмотренные факторы формируют методологическую основу для дальнейшего анализа конкретных решений. Оптимальная модель должна учитывать баланс между вычислительной сложностью и доступностью ресурсов, обеспечивать адаптируемость к специфике предметной области, гарантировать защиту данных и оставаться экономически оправданной для использования. При этом разные архитектуры LLM реализуют эти критерии по-разному: от ориентации на максимальную производительность крупных моделей до акцента на компактность и энергоэффективность, от специализации на генерации кода до усиленных возможностей для сложных рассуждений и текстового анализа.

Для обеспечения формирования полноценного представления о современных возможностях и ограничениях LLM в образовательной среде целесообразным является рассмотрение конкретных архитектур, применяемых в современной практике.

2.2 YandexGPT-5-Lite-8B-Instruct

YandexGPT-5-Lite [6] содержит около 8 млрд параметров и представляет собой плотную (Dense) инструкционную модель с контекстным окном до 32 тыс. токенов, что позволяет обрабатывать крупные образовательные материалы в рамках одной сессии. Используется эффективный токенизатор, оптимизированный под особенности русского языка и учитывающий его морфологические и синтаксические особенности, что обеспечивает корректное разбиение текста и высокое качество генерации.

Ключевое преимущество модели – её глубокая адаптация к русскоязычной среде и возможность локального запуска на видеокартах с 12-24 GB VRAM благодаря квантизации в форматах GGUF/GPTQ. Такая оптимизация снижает аппаратные требования и уменьшает задержки отклика. Отсутствие механизма Mixture of Experts (MoE) [7] упрощает инфраструктурную интеграцию и повышает стабильность работы.

Сочетание высокой поддержки русского языка и длинного контекста делает модель подходящей для создания образовательных агентов, персонализации ответов, автоматизированного формирования учебных материалов и предоставления детализированной

обратной связи. Локальное развёртывание обеспечивает контроль над безопасностью и приватностью данных, что критически важно для образовательных платформ.

Таким образом, YandexGPT-5-Lite предоставляет сбалансированное решение для образовательных проектов, где требуются качественная обработка русского языка, работа с большими контекстами и гибкость локального развёртывания. Благодаря оптимизациям и настройкам модель отлично подходит для задач интерактивного обучения и поддержки преподавателей в автоматизации рутинных операций.

2.3 Mistral-Small-3.2-24B-Instruct

Mistral-Small [8] оснащена плотной архитектурой, содержащей 24 млрд параметров, а также имеет расширенное контекстное окно до 128 тыс. токенов. Модель поддерживает мультимодальные входные данные и функцию вызова внешних процедур (function calling), что расширяет сферу применения за пределы простой текстовой генерации. Токенизация основана на Byte Pair Encoding (BPE) и ориентирована на сценарии с поддержкой нескольких языков, что обеспечивает высокую степень универсальности.

Хотя MoE не используется, успешно были реализованы усовершенствованные методы инструкционной донастройки, повышающие точность следования командам и уменьшающие повторяемость ответов. Оптимизация квантизации (Q4_K_M) позволяет запускать модель на GPU с 24 GB VRAM.

Большой контекст и мультимодальность способствуют созданию многофункциональных образовательных агентов, способных анализировать тексты и изображения и обеспечивать высокий уровень интерактивности. Устойчивость модели к генерации недопустимого и нежелательного контента повышает надёжность её применения в образовательной среде.

Mistral-Small-3.2-24B является высокопроизводительной универсальной моделью для реализации продвинутых образовательных решений с мультизадачностью, особенно в сложных AI-системах, требующих работы с разнородными данными и длинным контекстом.

2.4 Qwen2.5-Coder-7B/14B

Семейство больших языковых моделей с плотной архитектурой Qwen2.5-Coder [9] (7B и 14B параметров) ориентировано на задачи генерации и анализа программного кода, а также связанного с ним естественного языка. Архитектура трансформера с инструкционным

обучением обеспечивает точное следование запросам пользователя, а разнообразие размеров модели позволяет подобрать оптимальный вариант в зависимости от вычислительных ресурсов и требований задач. Таким образом достигается необходимый для поставленной задачи баланс между производительностью и качеством.

В модели используется продвинутый специализированный токенизатор для корректной обработки кода и технических текстов, учитывающий точный синтаксис языков программирования и комментариев. Поддержка квантизации до 4 бит обеспечивает возможность эффективного запуска модели на видеокартах с 12-24 GB VRAM без существенного ухудшения качества.

Отличительной чертой модели Qwen2.5-Coder является её специализация на языках программирования. Она способна генерировать код «с нуля», выполнять его рефакторинг, проводить верификацию написанных программ, анализировать ошибки, разъяснять сложные конструкции и вести диалог с пользователем, оставаясь в технической предметной области. В сочетании с инструкционным обучением эти функции обеспечивают её высокую применимость в образовательных проектах в области ИТ и инженерии, предоставляя возможности для незамедлительной помощи студентам в решении программных заданий, а также помочь преподавателю при подготовке материалов и проверке домашних работ.

Qwen2.5-Coder-7B/14B – это оптимальное решение для интеграции в цифровые образовательные платформы, где требуется качественная поддержка курсов программирования и автоматизация учебных процессов, связанных с программным кодом. Высокая точность и глубина обработки при разумных требованиях к вычислительным ресурсам делают эти модели привлекательным выбором для образовательных учреждений, стремящихся к внедрению ИИ для повышения качества обучения.

2.5 Llama 3.1 8B Instruct

Llama 3.1 8B [10] имеет плотную архитектуру, 8 млрд параметров и динамическое контекстное окно до 32 тыс. токенов. Токенизация основана на алгоритме SentencePiece, что обеспечивает эффективность как на английском, так и на других языках [11]. Модель поддерживает квантизацию (Q4/Q5/Q6) для оптимизированной работы на GPU с 12–24 GB VRAM.

Сильной стороной модели является развитая экосистема интерфейсов и

инструментов (llama.cpp, Ollama, vLLM), упрощающих масштабирование и кастомизацию. Инструкционная версия улучшает следование заданным запросам и снижает вероятность ошибок в сложных рассуждениях.

Модель является универсальной, поэтому она применима для широкого круга образовательных агентов: от помощи в написании сочинений и анализе текстов до генерации вопросов и интерактивного взаимодействия. Активно поддерживаемое сообщество и широкие возможности дообучения расширяют потенциал модели.

Llama 3.1 8B Instruct – мощное универсальное решение с отличной поддержкой сообщества и инструментов. Оно отлично подходит для образовательных платформ с международным уклоном, где важна гибкость, масштабируемость и широкая применимость.

2.6 SeedCoder

Seed-Coder [12] – семейство LLM (~8B параметров), разработанное с акцентом на открытость, прозрачность и высокую производительность при работе с анализом и генерацией программного кода. Доступны варианты базовая (base), инструкционная (instruct) и модель для многозадачного логического рассуждения (reasoning), оптимизированные для различных сценариев использования.

Плотная архитектура трансформера обучена на крупном корпусе кода из GitHub и других источников по «модельно-центричному» подходу, когда сами LLM участвуют в отборе, оценке и фильтрации обучающих данных. Это снижает человеческое вмешательство, минимизирует предвзятость и повышает качество корпуса. Контекст модели поддерживает работу с длинными последовательностями (реализуются варианты с удлинённым контекстом), а токенизатор адаптирован для точной обработки кода и связанного с ним естественного языка, что улучшает генерацию и понимание сложных синтаксических конструкций.

Отличительной чертой Seed-Coder является использование продвинутых методов дообучения и оптимизации, таких как supervised fine-tuning и direct preference optimization (DPO) [13] для instruct версии, а также reinforcement learning с Long-Chain-of-Thought (LongCoT) [14] для модели reasoning. Эти методы позволяют значительно повысить качество следования инструкциям, улучшить способность к многозадачным логическим рассуждениям и решению сложных кодовых задач, что особенно важно для образовательных сценариев,

тестирования и отладки программ.

Модель эффективна для создания интерактивных AI-агентов и ассистентов в программировании: генерация и исправление кода, поиск ошибок, объяснение алгоритмов. Поддержка квантизации позволяет запуск модели на 12-24 GB VRAM без значимой потери качества.

Seed-Coder является современным и масштабируемым решением для образовательных платформ с акцентом на программирование и инженерные задачи. Благодаря инновационному подходу к подготовке данных и продвинутым механизмам обучения, модель обеспечивает высокую производительность и качество генерации, открытость разработки, что повышает привлекательность её интеграции в системы AI-помощников, автоматизированных проверок заданий и интерактивного обучения программированию.

3. Особенности моделей в задачах образования

3.1. Образовательные AI-агенты

Современные образовательные агенты на основе LLM часто используют модульную архитектуру, включающую интеграцию с внешними источниками данных и специализированными инструментами (tools). Одним из эффективных подходов является Retrieval-Augmented Generation (RAG) – схема, при которой агент, получив запрос, сначала извлекает релевантную информацию из базы знаний или контент-хранилища, а затем формирует ответ с учётом этих данных [15, 16].

Подобная архитектура позволяет:

- работать с актуальными учебными материалами без необходимости повторного масштабного обучения модели;
- адаптировать систему под специфику конкретного образовательного курса;
- обеспечивать более высокую точность и релевантность ответов;
- реализовывать сложные сценарии, требующие анализа внешних структурированных или неструктурных данных.

В таких конфигурациях LLM выступает как центральный управляемый компонент, координирующий взаимодействие между инструментами (поиск, генерация тестов, анализ кода) и базами знаний.

3.2. Пример реализации

В рамках цифровой образовательной платформы Мирера разработан набор специализированных сервисов,

иллюстрирующих практическое применение LLM в образовательных задачах. Эти функции демонстрируют, как комбинация языковых моделей, интеграции с базами данных и генеративных алгоритмов позволяет автоматизировать широкий спектр учебных процессов.

Примеры образовательных инструментов:

- Цифровой помощник студента для задач программирования. Модель получает доступ к данным о текущем решении (код, состояние, сообщения об ошибках, текст задания и эталонного решения) и формирует краткую обучающую рекомендацию, указывая, на какие аспекты решения следует обратить внимание для исправления ошибок;

- Помощник преподавателя. На основе тех же данных более крупная модель формирует углублённый анализ затруднений студента и рекомендации преподавателю по выстраиванию дальнейших шагов обучения;

- Генерация вариантов ответов для тестов [17, 18]. По сформулированному заданию и правильному ответу агент создаёт несколько содержательных неверных вариантов, применимых в качестве отвлекающих ответов в тестовых заданиях;

- Автоматическая генерация тестов по материалам контекста. После анализа изученного материала агент генерирует задания, соответствующие тематике пройденного курса;

- Генерация задач по программированию. По аналогии с тестами, но с формированием полного условия задачи для практического программирования;

- Построение эталонного решения. На основе текстового описания задачи модель разрабатывает оптимальный алгоритм, впоследствии проверяемый посредством тестовых прогонов (валидаторов);

- Генерация тестовых данных. Имея эталонное решение и текст задачи, агент создаёт набор входных данных для проверки альтернативных решений;

- Создание аналогичных тестовых работ. По исходному набору тестовых заданий формируются вариации с тем же количеством заданий и темами, но с изменённым содержанием;

- Декомпозиция задач. Сложная задача разбивается на последовательность более простых подзадач, которые помогают поэтапно освоить необходимые навыки перед переходом к основной.

- Расширение формулировок задач. На базе краткого описания агент генерирует полное, структурированное и методически корректное условие задачи.

Таким образом, сочетание генеративных алгоритмов с доступом к актуальным учебным данным может существенно повысить эффективность обучения студентов и работы преподавателей.

3.3 Выбор модели для сервисов с ИИ

В процессе разработки интеллектуальных агентов для цифровой образовательной платформы Mirera возникла задача подбора оптимальных языковых моделей для различных типов заданий. Проведённые сравнительные испытания показали, что YandexGPT демонстрирует наилучшее понимание русского языка и высокую точность при создании и проверке текстовых заданий, однако его эффективность при решении задач, связанных с программированием, оказалась ограниченной. Для кодо-ориентированных сценариев предпочтение было отдано модели Mistral 3.2 Small в квантизированной конфигурации, что позволило разместить две модели на одном графическом ускорителе с объёмом памяти 32 ГБ и достигнуть высокой скорости инференса без существенной потери качества. Модель Qwen показала достойные результаты, однако продемонстрировала меньшую точность выполнения инструкций по сравнению с Mistral. Модель семейства LLaMA по суммарным показателям уступила всем вышеупомянутым решениям и поэтому не была выбрана для внедрения.

С учётом полученных результатов была принята гибридная схема распределения ролей между моделями: YandexGPT задействуется в задачах генерации формулировок на русском языке, нормализации и рецензирования ответов студентов; Mistral 3.2 Small обслуживает контур программирования (постановка и разбор задач,

объяснение ошибок, рефакторинг, генерация тестов и подсказок). Для сохранения целостности пользовательского опыта введён маршрутизатор запросов и унифицированные промпты-шаблоны с явной спецификацией роли и формата ответа, что позволило избавиться от непредсказуемого поведения моделей и стабилизировать ответы.

4. Заключение

В ходе проведённого исследования были проанализированы критерии выбора и особенности архитектур современных больших языковых моделей, применимых в образовательных цифровых платформах. Показано, что компетентный подбор модели с учётом аппаратных ограничений, предметной специализации и требований к безопасности позволяет существенно повысить эффективность взаимодействия между студентами и преподавателями.

Рассмотренные архитектуры YandexGPT, Mistral, Qwen и LLaMA продемонстрировали различный потенциал в зависимости от задач и условий внедрения. Установлено, что сочетание локальных и облачных решений при оптимальной квантизации обеспечивает баланс между производительностью и приватностью данных. Результаты работы могут служить практическими рекомендациями для образовательных организаций, планирующих интеграцию LLM в учебный процесс с учётом доступных ресурсов и целей обучения.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1).

Applications of large language models for digital educational platforms

**A. G. Leonov, N. S. Martynov, K. A. Mashchenko, M. S. Paremuзов,
K. K. Pchelin, A. V. Shlyakhov**

Abstract. This paper explores the potential of large language models (LLMs) to enhance interactions between students and educators within digital educational platforms. It analyzes modern state-of-the-art solutions – such as YandexGPT, Mistral, Qwen, LLaMA, and their variants – along with their architectural features, performance, and adaptability for educational tasks. The study demonstrates that proper model parameter tuning enables their effective use in automating routine tasks, personalizing learning, and expanding instructors' toolsets.

Keywords: digital educational platform, Mirera, large language models, artificial intelligence, neural network technologies, AI agents, LLM, personalized learning, automation of educational processes, data security

Литература

1. Chu, Z., Wang, S., Xie, J., Zhu, T., Yan, Y., Ye, J., Zhong, A., Hu, X., Liang, J., Yu, P.S. and Wen, Q., 2025. Llm agents for education: Advances and applications. arXiv preprint arXiv:2503.11733.
2. Silva, P. and Costa, E., 2025. Assessing large language models for automated feedback generation in learning programming problem solving. arXiv preprint arXiv:2503.14630.
3. Yousef, M., Mohamed, K., Medhat, W. et al. BeGrading: large language models for enhanced feedback in programming education. *Neural Comput & Applic* 37, 1027–1040 (2025). <https://doi.org/10.1007/s00521-024-10449-y>.
4. Chen, K., Zhou, X., Lin, Y., Feng, S., Shen, L. and Wu, P., 2025. A Survey on Privacy Risks and Protection in Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2505.01976.
5. Xunyu Zhu, Jian Li, Yong Liu, Can Ma, Weiping Wang; A Survey on Model Compression for Large Language Models. *Transactions of the Association for Computational Linguistics* 2024; 12 1556–1577. doi: https://doi.org/10.1162/tacl_a_00704.
6. LLM YandexGPT-5: [сайт]. – URL <https://huggingface.co/yandex/YandexGPT-5-Lite-8B-pretrain> (дата обращения 11.08.25)
7. Lo, K.M., Huang, Z., Qiu, Z., Wang, Z. and Fu, J., 2024. A closer look into mixture-of-experts in large language models. arXiv preprint arXiv:2406.18219.
8. LLM Mistral: [сайт]. – URL <https://huggingface.co/mistralai/Mistral-Small-3.2-24B-Instruct-2506> (дата обращения 11.08.25)
9. LLM Qwen2.5-Coder: [сайт]. – URL <https://huggingface.co/Qwen/Qwen2.5-Coder-7B-Instruct> (дата обращения 11.08.25)
10. LLM Llama-3.1: [сайт]. – URL <https://huggingface.co/meta-llama/Llama-3.1-8B-Instruct> (дата обращения 11.08.25)
11. Kudo, T. & Richardson, J. (2018), SentencePiece: A simple and language independent subword tokenizer and detokenizer for Neural Text Processing., in Eduardo Blanco & Wei Lu, ed., 'EMNLP (Demonstration)', Association for Computational Linguistics, , pp. 66-71.
12. LLM Seed-Coder: [сайт]. – URL <https://huggingface.co/ByteDance-Seed/Seed-Coder-8B-Instruct> (дата обращения 11.08.25)
13. Rafailov, R., Sharma, A., Mitchell, E., Manning, C.D., Ermon, S. and Finn, C., 2023. Direct preference optimization: Your language model is secretly a reward model. *Advances in neural information processing systems*, 36, pp.53728-53741.
14. Chen, Q., Qin, L., Liu, J., Peng, D., Guan, J., Wang, P., Hu, M., Zhou, Y., Gao, T. and Che, W., 2025. Towards reasoning era: A survey of long chain-of-thought for reasoning large language models. arXiv preprint arXiv:2503.09567.
15. Thüs D, Malone S and Brünken R (2024) Exploring generative AI in higher education: a RAG system to enhance student engagement with scientific literature. *Front. Psychol.* 15:1474892. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1474892
16. Fan, W., Ding, Y., Ning, L., Wang, S., Li, H., Yin, D., Chua, T.S. and Li, Q., 2024, August. A survey on rag meeting llms: Towards retrieval-augmented large language models. In *Proceedings of the 30th ACM SIGKDD conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 6491-6501).
17. Byun, G. and Choi, J.D., 2025. D-GEN: Automatic Distractor Generation and Evaluation for Reliable Assessment of Generative Model. arXiv preprint arXiv:2504.13439.
18. Bitew, S.K., Deleu, J., Develder, C. and Demeester, T., 2023, September. Distractor generation for multiple-choice questions with predictive prompting and large language models. In *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (pp. 48-63). Cham: Springer Nature Switzerland.

Эксперименты с шаблоном программы в ЦОС ПикоМир в курсе «Алгоритмика в начальной школе»

Е. С. Лебедева¹, М. В. Райко², Т. В. Пряжникова³

¹ГБОУ Школа № 199, Москва, Россия, elena.lebedes@yandex.ru;

²НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Россия, gayko@nisi.ru;

³ГБОУ Школа № 1207, Москва, Россия, pryazhnikova_tv@mail.ru.

Аннотация. В данной статье описывается опыт внедрения адаптивных учебных систем программирования в практику работы с учащимися начальной школы. Разработанные по государственному заданию РАН бестекстовая «детская» среда программирования ПикоМир и ее гибридное продолжение ПикоМир-К призваны развивать у учеников начальной школы базовые алгоритмические компетенции, предписанные ФГОС, еще до перехода к изучению и использованию «взрослых» текстовых алгоритмических языков и сред программирования. Ключевым педагогическим приемом в ПикоМире является использование программных шаблонов — заранее заданных в двумерной таблице алгоритмических структур (линейная последовательность, цикл, подпрограмма), в которых учащиеся размещают команды. Этот подход доказал свою эффективность, позволяя минимизировать синтаксические ошибки и сконцентрироваться на семантике алгоритма. Данная статья описывает методический эксперимент и демонстрирует, как постепенное освобождение от жестких рамок шаблона в ПикоМире готовит учащихся к более комфортному и успешному переходу в гибридную среду ПикоМир-К, развивая не только алгоритмическое мышление, но и структурную гибкость.

Ключевые слова: программа, информатика, начальная школа, ПикоМир

1. Введение

В отделе учебной информатики НИИСИ РАН, в 2010 году была начата разработка бестекстовой учебной среды программирования ПикоМир [1], предназначеннной для обучения дошкольников и учеников начальных классов базовым понятиям и структурам программирования. [2]

Эти работы в настоящее время продолжаются в правоприемнике НИИСИ РАН – НИЦ «Курчатовский институт»-НИИСИ. За истекшие годы, для проведения занятий по программированию в ЦОС ПикоМир с дошкольниками и учениками начальных классов в рамках блока системы дополнительного образования, в отделе учебной информатики было разработано свободно распространяемое методическое обеспечение.

2. Преимущества бестекстового подхода в изучении программирования в начальной школе

С 2018 года в двух Московских школах идёт апробация курса «Алгоритмика в начальной школе с использованием семейства ЦОС

ПикоМир, ПикоМир-К, КуМир» Педагоги проводят занятия в блоке дополнительного образования и во внеурочной деятельности.

В применимости и эффективности бестекстового подхода при изучении азов программирования в школе нет ничего удивительного. Действующий сегодня в России ФГОС [3] основного общего образования по предметной области «Математика и информатика» предусматривает «развитие умений по составлению и записи алгоритма для конкретного исполнителя; формирование знаний об алгоритмических конструкциях, логических значениях и операциях; знакомство с одним из языков программирования и основными алгоритмическими структурами - линейной, условной и циклической». Примерная образовательная программа курса «Информатика» для основной школы добавляет понятие «вспомогательный алгоритм»: выпускник основной школы должен научиться «составлять несложные алгоритмы управления исполнителями ... с использованием основных управляющих конструкций последовательного программирования (линейная программа, ветвление, повторение, вспомогательные алгоритмы), выполнять эти программы на компьютере». Но все перечисленные выше

глубинные, базовые понятия и навыки программирования, могут быть усвоены и отработаны в бестекстовой системе программирования, причем с большей эффективностью, чем в текстовой системе, даже учебной, подобной системам «КуМир» или «PascalABC». [4;5]

2. Переход от пиктограммной к гибридной среде программирования

Основные структуры программирования учащиеся начальной школы изучают в пиктограммной среде. Чтобы минимизировать ошибки при составлении алгоритма, в каждом задании дается уже готовый шаблон программы, в котором ученик составляет программу, используя уже предложенный вариант структуры программы, состоящей из фрагментов типа: линейный алгоритм, ветвление, цикл, подпрограмма. [6]

На рисунке 1 приведен пример с заданным шаблоном программы - «программа с подпрограммой», в которой главный алгоритм имеет линейную структуру, а подпрограмма А имеет структуру цикла с повторителем:



Рис. 1. Задание с роботом Тягуном в ЦОС ПиктоМир.
Задан фиксированный шаблон программы.

Переходя в гибридную среду программирования ПиктоМир-К, ученик получает задание без шаблона, но на выбор предлагается набор заготовок - структур программирования. На рисунке 2 приведен пример задания с роботом Тягуном в ЦОС ПиктоМир-К.

При первом опыте составления программ в ЦОС ПиктоМир-К [7] ученики знакомятся с двумя отличительными различиями данной ЦОС от ЦОС ПиктоМир: *текстовое представление команд* и *свобода выбора структуры программы*.



Рис. 2. Задание с роботом Тягуном в ЦОС ПиктоМир-К

Вторая особенность, а именно необходимость начать составление программы с нуля, у ряда учеников вызывает напряжение и задержки в выполнении заданий. Эта трудность хорошо известна психологам и носит название «синдром чистого листа» — состояние творческого ступора, когда ребенок не может начать работу (писать, рисовать, заниматься музыкой и т.д.) из-за отсутствия идеи или страха неудачи и критики.

3. Эксперимент со свободными шаблонами: развитие творческого подхода к программированию

С 2023 учебного года у детей появилась возможность экспериментировать с шаблоном программы — создавать свои шаблоны программы — уже в пиктограммной среде (в ЦОС ПиктоМир).

По завершении освоения очередной структуры программирования, ученику предоставляется возможность выполнения задания со свободным шаблоном. Например, тема «Линейный алгоритм» заканчивается игрой, в которой дети решают знакомые задачи, но самостоятельно придумывают и формат линейного алгоритма в виде полностью заполненной или частично заполненной прямоугольной таблицы. Число клеточек, которое должно быть в такой таблице для размещения всех нужных команд роботу, помогает подсчитывать *копилка*. На рисунке 3 приведен пример задания 3 игры 1.13* «А какой алгоритм получился?» в мире «1 класс (ДОП)».

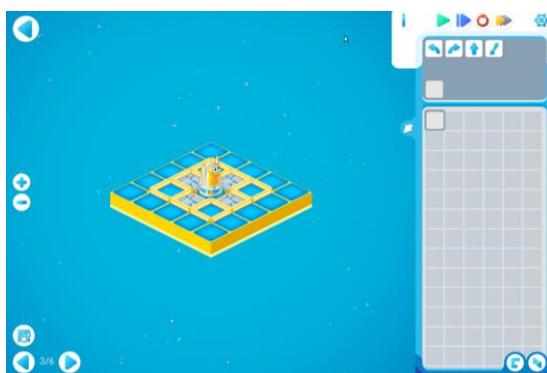


Рис. 3. Задание с роботом Вертуном. Шаблон программы не задан

В этом задании доступна возможность составить только линейный алгоритм. Рассмотрим один из вариантов решения. Для выполнения работы на заданной карте (заданном космодроме) Вертуну необходимо выполнить 18 команд (рис. 4).



Рис. 4. Решение с помощью копилки

Для выполнения задания на рисунке 3 возможно несколько вариантов форм шаблона программы для размещения 18 команд: 2x9, 6x3, 3x6, 5x3+3 и т.д. (рис. 5).

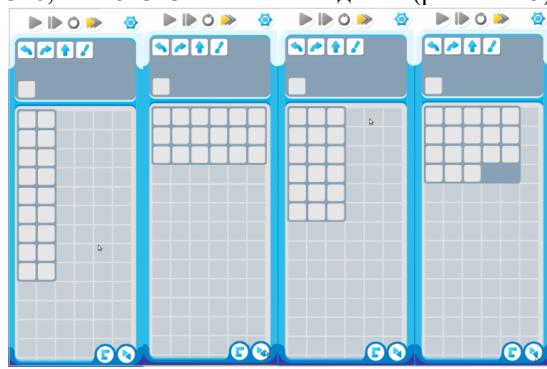


Рис. 5. Возможные варианты шаблонов

Для закрепления усвоенного материала по теме «Циклы с повторителем», в игре 1.17* «Устроим Соревнование» в мире «1 класс (ДОП)», детям предлагается самостоятельно составить шаблон программы с использованием «цикла с повторителем» (см. рис. 6).



Рис. 6. Задание с роботом Двигуном. Свободный шаблон программы

Приведём один из вариантов решения. Последовательность из 9 команд позволит задвинуть Двигуну один груз (рис. 7).



Рис. 7. Двигун задвинул бочку и готов выполнять следующие команды

Рассмотрев карту с роботом и грузами, дети принимают решение, что в программе можно использовать повторитель («4») для проведения всей работы с четырьмя ящиками и бочками (рис. 8).



Рис. 8. Решение к заданию с роботом Двигуном

И в этом задании возможны несколько вариантов составления шаблона цикла. Дети мгновенно усваивают главное правило: первый столбец занимает повторитель, а вот шаблонная табличка для выполняемых в цикле команд может иметь разный вид (рис. 9).

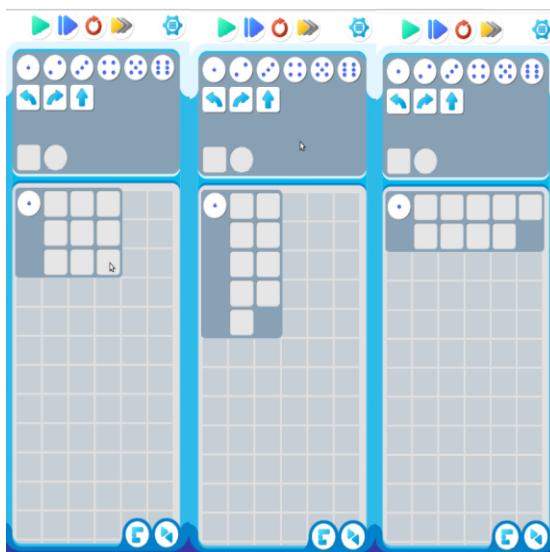


Рис. 9. Виды шаблонов для «цикла с повторителем» для 9 команд

В играх по теме «Подпрограммы» у учащихся появляется возможность самостоятельно сочинять структуру программы, используя и подпрограммы с однобуквенными именами, и повторитель. На рисунке 10 приведен пример задания с роботом Ползун, в котором можно использовать одну подпрограмму А и циклы с повторителями.



Рис. 10. Пример задания с роботом Ползуном и свободный шаблон программы

Данный эксперимент с шаблонами показал, что, имея опыт составления программ со свободным шаблоном в ЦОС ПиктоМир, дети избавляются от страха «чистого листа», чувствуют себя более комфортно в среде ПиктоМир-К. Открывая новый уровень (рис. 2), ребята подготовлены к тому, что одна свободная клеточка в шаблоне программы, может быть расширена до нужного количества клеток, и структуру программы юный программист может сочинять самостоятельно, освоив базовые конструкции программирования. Примером является рисунок 11, на котором приведены возможные решения к заданию, упомянутому в начале статьи на рисунке 2.

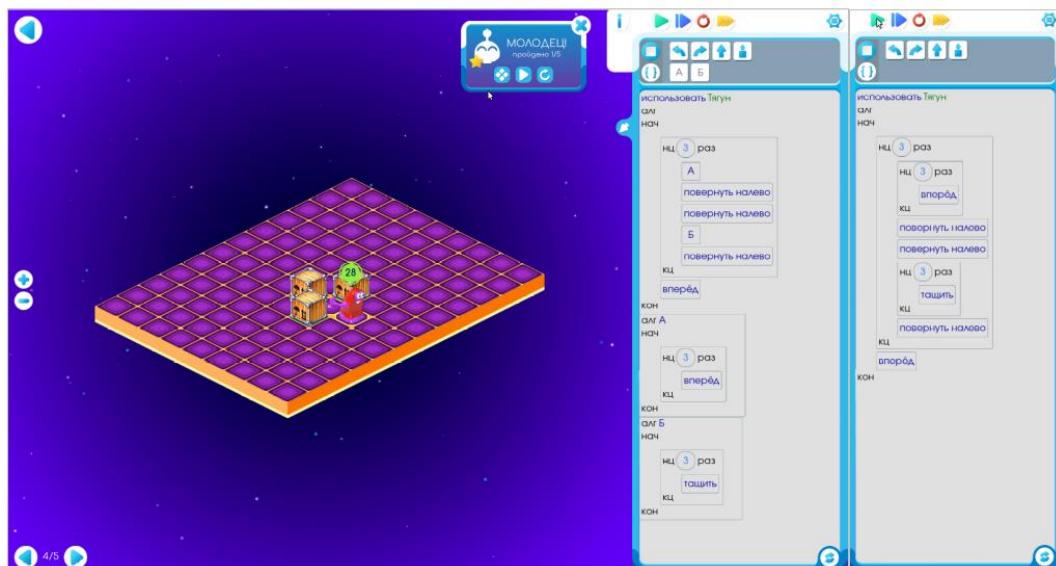


Рис. 11. Пример задания с роботом Тягуном в ЦОС ПиктоМир-К

4. Выводы

Проведенная работа и описанный методический эксперимент позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенная методика, основанная на последовательном переходе от жестко заданных шаблонов программ к полностью свободному

конструированию их структуры, доказала свою высокую эффективность. Она соответствует принципу «от простого к сложному» и обеспечивает плавное формирование алгоритмического мышления.

2. Навык самостоятельного создания структур программ, сформированный в бестекстовой среде ПиктоМир, существенно

облегчает последующий переход учащихся в гибридную среду ПикоМир-К. Дети, получившие возможность экспериментировать с шаблонами, демонстрируют большую готовность к работе в условиях свободы выбора и меньший уровень стресса.

3. Предоставление ученикам возможности самостоятельно проектировать форму алгоритма (линейную, с циклами, с подпрограммами) способствует более глубокому пониманию сути базовых управляющих конструкций, а не просто механическому их использованию.

4. Введение заданий со свободным шаблоном в арсенал учебных средств ЦОС ПикоМир является мощным методическим усовершенствованием. Оно позволяет не только закреплять пройденный материал, но и целенаправленно готовить учащихся к работе в более сложных и свободных средах программирования.

5. Данный подход открывает новые возможности для построения непрерывной и преемственной вертикали обучения программированию — от дошкольного возраста с помощью ПикоМира до освоения текстовых языков через ПикоМир-К и Кумир. Дальнейшие исследования могут быть

направлены на формализацию и тиражирование данной методики для массового внедрения в образовательных учреждениях.

Таким образом, эксперимент подтвердил, что развитие навыка структурного мышления на ранних этапах обучения через манипуляции с шаблонами программ является критически важным звеном для успешного и комфорtnого освоения детьми основ программирования.

5. Результаты

Проведенная многолетняя апробация в рамках реального учебного процесса подтверждает, что новая методика не только достигает поставленных образовательных целей, но и способствует более мягкой и эффективной адаптации детей к сложным концепциям программирования, снижая порог входления и формируя глубокое структурное понимание.

6. Благодарности

Райко М.В. выполняла работу в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001, этап 2025 года (1023032100070-3-1.2.1).

Experimenting With a Program Template in the PictoMir Digital Educational System During the Course "Algorithmics in Primary School"

E. S. Lebedeva, M. V. Rayko, T. V. Pryazhnikova

Abstract. This article describes the experience of implementing adaptive programming educational systems in teaching elementary school students. Developed under a state assignment from the Russian Academy of Sciences, the textless "childish" PictoMir programming environment and its hybrid successor PictoMir-K are designed to develop basic algorithmic competencies in elementary school students, as mandated by the Federal State Educational Standard (FGOS), even before they begin learning and using full-featured programming languages and environments. The key pedagogical technique in PictoMir is the use of program templates, i.e. algorithmic structures like linear sequences, loops, subroutines predefined in a two-dimensional table, into which students inserts operators. This approach has proven effective, minimizing syntax errors and focusing on the semantics of the algorithm. This article describes a methodological experiment and demonstrates how the gradual relaxation of rigid templates in PictoMir prepares students for a more comfortable and successful transition to the PictoMir-K hybrid programming environment, fostering not only algorithmic thinking but also structural flexibility.

Keywords: program, computer science, elementary school, PictoMir

Литература

1. Стартовая страница проекта «ПиктоМир» и методические рекомендации на сайте НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ. URL: <https://www.niisi.ru/piktomir/> (дата обращения 12.10.2025)
2. Кушниренко, А.Г. Знакомим дошкольников и младших школьников с азами алгоритмики с помощью систем ПиктоМир и КуМир / А.Г. Кушниренко, А.Г. Леонов, М.А. Ройтберг. // Труды НИИСИ РАН. – 2015. – Т. 5, № 1. – С. 134–137.
3. Федеральная рабочая программа основного общего образования. Информатика (базовый уровень) (для 7–9 классов образовательных организаций) / – Текст: электронный. – Москва, 2023. – URL: https://edsoo.ru/wp-content/uploads/2023/08/15_ФРП-Информатика-7-9-классы_база.pdf (дата обращения: 12.10.2025)
4. Бетелин, В.Б. О цифровой грамотности и средах её формирования / В.Б. Бетелин, А.Г. Кушниренко, А.Л. Семенов, С.Ф. Сопрунов. // Информатика и её применения. – 2020. – Т. 14, № 4. – С. 100–107.
5. Бетелин, В. Б. Основные понятия программирования в изложении для дошкольников/ В. Б. Бетелин, А. Г. Кушниренко, А. Г. Леонов // Информатика и ее применения. – 2020. – Том 14, выпуск 3. – С. 56–62.
6. Бесшапошников, Н.О. Проект двуязыковой пиктограммно-текстовой учебной среды программирования ПиктоМир-К / Н.О. Бесшапошников, А.Г. Кушниренко, А.Г. Леонов, А.А. Малый. // Свободное программное обеспечение в высшей школе: сб. тез. 14-й конф. (Переславль-Залесский, 25–27 янв. 2019 г.). – М.: МАКС Пресс, 2019. – С. 64–66.
7. Кушниренко, А.Г. Безошибочный двумерный пиктограммный синтаксис в учебной среде программирования для дошкольников / А.Г. Кушниренко, А.Г. Леонов, С.А. Поликарпов. – DOI 10.31857/S2686954323700169 // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. – 2023. – Т. 511, № 1. – С. 13–19.

К вопросу о количестве многочленов f девятой степени, задающих гиперэллиптическое поле с фундаментальной S -единицей степени 13 и периодическим разложением корня из f

Ю. Н. Штейников¹

¹НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Российская Федерация, yriisht@yandex.ru;

Аннотация. Статья освещает некоторые вопросы о количестве многочленов с коэффициентами из поля алгебраических чисел k таких, что $\deg f = 9$, при котором соответствующее гиперэллиптическое поле $k(x)(\sqrt{f})$ содержит фундаментальную S -единицу степени 13 и для которых разложение \sqrt{f} в функциональную непрерывную дробь в поле $k((x))$ периодично. В этой статье доказано, что для любого поля k , являющегося полем алгебраических чисел, таких многочленов лишь конечное число и мы получаем универсальную оценку на это количество, не зависящее от поля k . Более того мы попутно доказываем, что множество таких многочленов непусто для некоторого такого поля k , являющегося полем определения набора коэффициентов f . При доказательстве основных результатов существенную роль играют символьные вычисления с базисами Гребнера.

Ключевые слова: гиперэллиптическое поле, фундаментальная S -единица.

1. Введение

В данной работе будем обозначать через $f(x) = f_0 + f_1x + \dots + f_{2g+1}x^{2g+1} \in k[x]$ - многочлен нечетной степени $2g+1$ над некоторым полем k характеристики 0. Для дальнейших наших целей будем считать, что он является бесквадратным, и $f_0 = a^2$ где $a \in k \setminus \{0\}$, то есть первый коэффициент является квадратом некоторого числа.

Известно, что для функциональных непрерывных дробей в поле $k((x))$ из наличия периодических элементов в $k((x))$ следует периодичность элементов \sqrt{f}/x^g и \sqrt{f}/x^{g+1} , где g – род кривой, соответствующий многочлену f степени $2g+1$. Другие же элементы, например элементы вида \sqrt{f}/x^s , где $s \neq g, s \neq g+1$, как правило могут быть непериодичны (см. [1]). Стоит напомнить, что свойство разлагаться в периодическую дробь для \sqrt{f}/x^g в поле формальных степенных рядов $k((x))$ означает существование нетривиальных S -единиц в соответствующем гиперэллиптическом поле для множества

нормирований S , которое состоит из одного из двух нормирований, продолжающих нормирование для поля $k(x)$, определяемого линейным многочленом x , и бесконечного нормирования (см. статью [1]).

Упомянем некоторые предшествующие результаты. В работе [3] были впервые найдены все такие нетривиальные многочлены f степени 3 над полем рациональных чисел, обладающих периодическим разложением \sqrt{f} .

В дальнейшем эти исследования были продолжены в следующем направлении. В работе [4] вышеуказанные результаты были обобщены и распространены на числовые поля констант k и данная проблема получила полное решение в отношении вопроса о периодичности для квадратичных и числовых полей k степени 3 над \mathbb{Q} . Далее в работе [5] был впервые получен результат о конечности таких многочленов f для числовых полей k , степень которых над полем \mathbb{Q} не превосходит 6. Вывод этих результатов основан на символьных вычислениях в системе компьютерной алгебры и на параметризации пар: эллиптическая кривая и точка с фиксированным порядком кручения [6, 7].

В другом направлении отметим следующие результаты. В работе [8] в явном виде получены все такие многочлены $f(x)$ над произвольными

числовыми полями констант k , и для любой степени многочлена f , при специальном ограничении соответствующей степени U фундаментальной S -единицы соответствующего гиперэллиптического поля $k(x)(\sqrt{f})$. Эта величина U не больше чем 12, а также в случае четного U она не превышает 20 [8].

В настоящей статье мы преследуем следующую цель. Мы хотим доказать, что для любого поля k характеристики 0, существует не более чем конечное число попарно неэквивалентных многочленов $f(x)$ таких, что $\deg f = 9$ и \sqrt{f} раскладывается в периодическую непрерывную дробь в $k((x))$, а кроме того соответствующее гиперэллиптическое поле $k(x)(\sqrt{f})$ содержит фундаментальную S -единицу степени 13.

2. Основной результат

Приведем некоторые дополнительные сведения, необходимые в дальнейшем. Для неприводимого над k многочлена h определим дискретное нормирование V_h (элемента поля

$$k(x))$$
 равенством $V_h\left(h^m \frac{p}{q}\right) = m$, где взаимно

простые многочлены p, q не делятся на h ; бесконечное нормирование, в свою очередь, определим равенством $V_\infty\left(\frac{p}{q}\right) = \deg q - \deg p$.

Пусть нормирование V_x поля $k(x)$ имеет два продолжения V_x^+ и V_x^- на поле $L = k(x)(\sqrt{f})$. Если $\deg f = 2g + 1$ для $g \in \mathbb{N}$, то положим $S = \{V_x^+, V_\infty\}$. Группа обратимых S -целых элементов поля L называется группой S -единиц. Если существует хотя бы одна нетривиальная S -единица (то есть отличная от константы поля k), то в описанном нами случае группа S -единиц является прямым произведением $k \setminus \{0\}$ и бесконечной циклической группы. Образующие этой циклической группы называются фундаментальными S -единицами.

Если $\eta_1 + \eta_2 \sqrt{f}, \eta_1, \eta_2 \in k(x)$ — S -единица, то её норменное выражение имеет вид $\eta_1^2 - \eta_2^2 f = bx^m$, где $b \in k \setminus \{0\}$. Степенью S -единицы называется показатель m степени

x в правой части выражения. Для рассматриваемого S порядок соответствующей точки кручения на якобиане гиперэллиптической кривой, связанной с нормированием V_x^+ , совпадает со степенью соответствующей S -единицы (см. [2]).

Также полезно ввести следующие понятия. Свойство периодичности разложения $\sqrt{f(x)}$ в непрерывную дробь равносильно периодичности любых элементов вида $\sqrt{a^2 f(bx)}$ в произвольных $a, b \in k^*$. Тем самым имеет смысл рассматривать искомые многочлены f с точностью до эквивалентности, определяемой преобразованиями, указанными выше. Основная теорема звучит следующим образом.

Теорема 1. Для любого поля k характеристики 0, существует не более 284 попарно неэквивалентных многочленов $f(x) \in k[x]$ таких, что $\deg f = 9$, разложение элемента \sqrt{f} в непрерывную дробь периодично, а гиперэллиптическое поле $k(x)(\sqrt{f})$ обладает фундаментальной S -единицей степени 13.

Замечание к теореме 1. Можно доказать, что в случае поля \mathbb{Q} многочленов с рациональными коэффициентами, удовлетворяющих условиям теоремы 1 не существует. В настоящей статье мы доказываем существование таких многочленов, но над некоторыми полями алгебраических чисел k . Иными словами, существует хотя бы один такой многочлен степени 9 с коэффициентами из поля $\bar{\mathbb{Q}}$, обладающий вышеуказанными свойствами. С другой стороны главный результат теоремы 1 говорит о существовании эффективной верхней границы числа таких многочленов f . Явный вид таких многочленов или их классификация в случае разных полей k , является открытым вопросом ввиду слишком большого объема вычислений, требуемых для реализации предложенного нами подхода. Одним из главных препятствий в реализуемом нами подходе является трудоемкость вычислений в полиномиальных идеалах, а также адаптация и оптимизация соответствующих алгоритмов основанных на вычислениях базисов Гребнера.

3. Доказательство основной теоремы.

Приведем одно утверждение, которое потребуется для доказательства [1].

Лемма 1. [1] Пусть многочлен f свободен

от квадратов, $\deg f = 2g+1$, а поле L обладает фундаментальной S -единицей нечётной степени m . Элемент \sqrt{f} периодичен тогда и только тогда, когда существуют $\alpha, \beta \in k[x]$, $b \in k \setminus \{0\}$, удовлетворяющие уравнению $\alpha^2 - \beta^2 f = bx^m$ такие, что $\deg \alpha \leq \frac{m-2g-1}{2}$,

$$\deg \beta = \frac{m-2g-1}{2}.$$

Для произвольного многочлена $p \in k[x]$ обозначим его коэффициенты через p_k , то есть $p = \sum_k p_k x^k$.

Определение 1. Пусть для произвольного поля k заданы $g, m \in \mathbb{N}$, $b \in k \setminus \{0\}$, $\alpha, \beta, f \in k[x]$, $\alpha_0 \neq 0, \beta_0 \neq 0$, $\deg f = 2g+1$. Будем называть набор (α, β, f, b) нетривиальным решением норменного уравнения над k , если выполнено норменное уравнение

$$\alpha^2 - \beta^2 f = bx^m. \quad (1)$$

Нетривиальное решение этого норменного уравнения является по сути решением полиномиальной системы относительно переменных $\{\alpha_i\}, \{\beta_j\}, \{f_k\}$. Будем называть ее системой норменного уравнения. Введём отношение эквивалентности на нетривиальных решениях, продолжающее отношение эквивалентности на многочленах.

Определение 2. Для $\gamma \in k \setminus \{0\}$ определим преобразования $G_{i,\gamma}$, действующее на наборах $\Omega = (\alpha, \beta, f, b)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} G_{1,\gamma}(\Omega) &= (\alpha(\gamma x), \beta(\gamma x), f(\gamma x), \gamma^m b); \\ G_{2,\gamma}(\Omega) &= (\gamma \alpha, \gamma \beta, f, \gamma^2 b); \\ G_{3,\gamma}(\Omega) &= (\gamma \alpha, \beta, \gamma^2 f, \gamma^2 b). \end{aligned}$$

По сути преобразования $G_{i,\gamma}$ определяют отношение эквивалентности на множестве нетривиальных решений вышеуказанной полиномиальной системы.

Обозначим через G_k группу порожденную этими коммутирующими преобразованиями. Элементы этой группы будем называть допустимыми преобразованиями.

Доказательство теоремы 1. Пусть в наших обозначениях фундаментальная S -единица

имеет вид: $\alpha + \beta \sqrt{f}$, ее степень равна 13, $\alpha, \beta \in k[x]$, некоторые многочлены, соответственно выполнено норменное уравнение $\alpha^2 - \beta^2 f = bx^{13}$, $b \in k^*$. По лемме 1 получаем ограничения на их соответствующие степени, то есть $\deg(\alpha), \deg(\beta) \leq 2$.

Легко показать, что $\alpha_0, \beta_2 \neq 0$. Если $\alpha_0 = 0$ (что равносильно $\beta_0 = 0$), то в результате сокращения степень фундаментальной единицы окажется строго меньше 13. В случае $\beta_2 = 0$, сравнение степеней при x^{13} приводит к аналогичному выводу.

С помощью группы преобразований G_k будем осуществлять специальную выборку значений переменных, являющихся решением полиномиальной системы норменного уравнения. Покажем, что для преобразований группы G_k для поля k являющегося возможно конечным расширением поля Q во множестве решений полиномиальной системы в переменных $\{\alpha_i\}, \{\beta_j\}, \{f_k\}$ можно выбрать соответствующий представитель в классе эквивалентности с $f_9 = \beta_2 = \alpha_0 = 1$. Действительно, пусть параметры $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ соответствуют элементарному преобразованию $G_{1,\gamma_1}(\Omega)G_{2,\gamma_2}(\Omega)G_{3,\gamma_3}(\Omega)$ согласно определению 2. Тогда неизвестные значения $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ определяются из уравнений:

$$f_9 \gamma_1^9 \gamma_3^2 = 1, \alpha_0 \gamma_2 \gamma_3 = 1, \beta_2 \gamma_1^2 \gamma_2 = 1$$

Из предыдущих соотношений следует, что

$$\frac{f_9 \beta_2^2}{\alpha_0^2} \gamma_1^{13} = 1, \quad \gamma_2 = \frac{1}{\gamma_1^2 \beta_2}, \quad \gamma_3 = \frac{1}{\gamma_2 \alpha_0}.$$

Поэтому с учетом предыдущих уравнений можно положить:

$$f_9 = \alpha_0 = \beta_2 = 1.$$

После исключения всех неизвестных коэффициентов из системы норменного уравнения мы получаем систему от 4 неизвестных $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_0$ с 4 уравнениями.

$$\begin{aligned}
& 30\beta_0^6\beta_1 - 140\beta_0^5\beta_1^3 + 168\beta_0^4\beta_1^5 + \\
& - 72\beta_0^3\beta_1^7 + 10\beta_0^2\beta_1^9 - \beta_0^2\alpha_2^2 + 1 = 0 \\
& - 5\beta_0^6 + 120\beta_0^5\beta_1^2 - 385\beta_0^4\beta_1^4 + \\
& + 392\beta_0^3\beta_1^6 - 153\beta_0^2\beta_1^8 + 20\beta_0\beta_1^10 - \\
& - 2\beta_0\beta_1\alpha_2^2 + 2\alpha_1 = 0 \\
& 30\beta_0^5\beta_1 - 70\beta_0^4\beta_1^3 - 56\beta_0^3\beta_1^5 + \\
& + 144\beta_0^2\beta_1^7 - 70\beta_0\beta_1^9 - 2\beta_0\alpha_2^2 + \\
& + 10\beta_1^{11} - \beta_1^2\alpha_2^2 + \alpha_1^2 + 2\alpha_2 = 0 \\
& - 6\beta_0^5 + 105\beta_0^4\beta_1^2 - 280\beta_0^3\beta_1^4 + \\
& + 252\beta_0^2\beta_1^6 - 90\beta_0\beta_1^8 + 11\beta_1^{10} - \\
& - 2\beta_1\alpha_2^2 + 2\alpha_1\alpha_2 = 0
\end{aligned}$$

Далее, рассматриваем идеал, образованный этими 4-мя уравнениями в кольце $\mathbb{Q}[\beta_1, \beta_0, \alpha_1, \alpha_2]$.

Далее мы вычисляем отдельно базис Гребнера этого идеала I для степенного лексикографического порядка – deglex order. Напомним, что $\deg \beta_1^{b_1} \dots \alpha_2^{a_2} = b_1 + \dots + a_2$. Порядок на мономах определяется следующим образом: сначала сравниваются степени мономов, в случае же равенства сравнение идет по стандартному лексикографическому порядку.

Более того, с помощью команды *normal-basis()* в системе Sage можно вывести и сам линейный базис $\mathbb{Q}[\beta_1, \beta_0, \alpha_1, \alpha_2]/I$, который и состоит из 284 монома.

Теперь покажем, что указанный многочлен существует с коэффициентами из подходящего поля k . Во-первых лемма 1 является критерием существования таких многочленов. Поэтому достаточно показать, что существует решение норменного уравнения с нужными нам свойствами.

Далее, мы выше вычислили базис Гребнера для взвешенного порядка для соответствующего идеала, отвечающего системе норменного уравнения с $f_0 = \beta_2 = \alpha_0 = 1$. Вычисленный

нетривиальный (неконстантный) базис нам помимо всего прочего говорит о том, что множество решений соответствующей системы не пусто. Напомним, если бы решений не существовало, то по известному критерию базис Гребнера состоял из ненулевой константы. Но это не так в нашем случае.

Дальнейшим нашим шагом будет доказательство того факта, что многочленов с неподходящими свойствами нет среди решений вышеуказанной системы. Иными словами во множестве решений системы норменного уравнения с $f_0 = \beta_2 = \alpha_0 = 1$ могут находиться многочлены с единственным неподходящим нам свойством $f_0 = 0$. В этом случае нельзя разложить в непрерывную дробь элемент \sqrt{f} . Поэтому достаточно проверить что $f_0 \neq 0$ во множестве решений вышеуказанной системы.

Мы подставляем условие $f_0 = 0$ в указанную систему выписанную выше и вычисляем базис Гребнера системы. Оказывается, что этот базис содержит константу, равную единице. Отсюда следует вывод, что таких многочленов с коэффициентами из поля \mathbb{Q} с $f_0 = 0$ не существует. Значит многочленов с единственным неподходящим свойством $f_0 = 0$ не существует, а среди непустого множества решений многочлен f указанного вида с условиями теоремы 1 действительно существует.

Теорема 1 полностью доказана.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001 «Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах», этап 2025 года.

On the Question of the Number of Polynomials f of Degree 9 Defining a Hyperelliptic Field with a Fundamental S-unit of Degree 13 and a Periodic Expansion of the square root of f

Y. N. Shtenikov

Abstract. This article is devoted to some questions about the number of polynomials with coefficients in an algebraic number field k such that $\deg f = 9$, for which the corresponding hyperelliptic field $k(x)(\sqrt{f})$ has a fundamental S-unit of degree 13 and for which the continued fraction expansion of \sqrt{f} is periodic. It is proved that for any algebraic number field k , there are only finitely many such polynomials, and we obtain a universal estimate for this number, independent of the field k . Moreover, we prove that for k , the set of such polynomials is nonempty for some field k that is the definition field of the coefficient set of polynomial f . Symbolic computations with Gröbner bases play a significant role in the proof of the main results.

Keywords: hyperelliptic field, fundamental S-unit

Литература

- Платонов В.П., Петрунин М.М. Группы S-единиц и проблема периодичности непрерывных дробей в гиперэллиптических полях // Труды МИАН. 2018. Т. 302, С. 354–376.
- Платонов В.П. Теоретико-числовые свойства гиперэллиптических полей и проблема кручения в якобианах гиперэллиптических кривых над полем рациональных чисел // УМН. 2014. Т. 69, №1(415), С.3–38.
- Платонов В.П., Федоров Г.В. О проблеме периодичности непрерывных дробей в гиперэллиптических полях// Математический сборник. 2018, Т.209, № 4. С.54–94.
- Платонов В.П., Петрунин М.М. О конечности числа периодических разложений в непрерывную дробь \sqrt{f} для кубических многочленов над полями алгебраических чисел // Доклады РАН. Математика, информатика, процессы управления. 2020. Т.495, № 1, С.48–54.
- В. П. Платонов, В. С. Жгун, М. М. Петрунин, “О проблеме периодичности разложений в непрерывную дробь \sqrt{f} для кубических многочленов f над полями алгебраических чисел”, Матем. сб., 213:3 (2022), 139–170.
- Kubert D.S. Universal bounds on the torsion of elliptic curves // Proc. London Math. Soc. 1976. Vol. 33, № 2, P. 193–237.
- Sutherland A. Constructing elliptic curves over finite fields with prescribed torsion// Mathematics of Computation. 2012. Vol. 81, № 278, P. 1131–1147.
- Платонов В.П., Петрунин М.М. Новые результаты о проблеме периодичности непрерывных дробей элементов гиперэллиптических полей // Труды МИАН. 2023, № 320 , с. 278–286.
- Schmidt W.M. On continued fractions and diophantine approximation in power series fields// Acta arithmetica. 2000. Vol. 95, №2. P.139–166.
- В. П. Платонов, М. М. Петрунин, В. С. Жгун, Ю. Н. Штейников, “О конечности гиперэллиптических полей со специальными свойствами и периодическим разложением \sqrt{f} ”, Докл. РАН, 483:6 (2018), 609–613.

Подход к реализации функциональных блоков спецификации PLCopen

Н. Д. Байков¹, А. Н. Годунов²

¹НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, Москва, Россия, nknikita@niisi.ras.ru;

²НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, Москва, Россия, nkag@niisi.ras.ru;

Аннотация. В работе рассмотрены возможные подходы к реализации функциональных блоков для библиотеки управления работой электропривода, разрабатываемой в целях импортозамещения иностранного программного обеспечения в сфере автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Ключевые слова: функциональный блок, библиотека управления движением, АСУ ТП, ПЛК

1. Введение

В условиях современного мира повсеместное внедрение новых, а также поддержание и дальнейшее совершенствование эффективности существующих средств автоматизации управления технологическими процессами является одним из приоритетных направлений деятельности для экономики и многих других связанных с ней сфер. По причине своей высокой практической важности, а также из-за разнообразия прикладных областей, в которых применение автоматизированных систем управления обладает различной спецификой, за годы внедрения на рынке сформировалось множество поставщиков различного оборудования и готовых решений на его основе. В целях обеспечения совместимости оборудования между собой были разработаны отраслевые стандарты и вспомогательные документы, среди которых важное значение имеют стандарты IEC 61800 [1], IEC 61131 [2] и спецификация PLCopen [3].

Стандарт IEC 61800 состоит из нескольких частей, в которых по группам разделены требования к техническим характеристикам и различным аспектам реализации силовых электроприводов с регулируемой скоростью. В том числе, в состав стандарта IEC 61800 входит несколько частей IEC 61800-7-*, в которых собраны вместе требования по унификации профиля взаимодействия с электроприводом. Данные требования базируются на спецификации CiA 402 [4], определяющей команды управления для переключения электропривода в различные режимы работы. Например, переключение в режим работы, при котором инициируется перемещение электропривода в заданную позицию или разгон электропривода до заданного значения скорости. При этом непосредственная доставка команд от центрального процессорного модуля

программируемого логического контроллера (далее – ПЛК) к электроприводу может осуществляться различными способами, как например, при помощи протоколов EtherCAT, PROFINET, EtherNet/IP, POWERLINK, Modbus TCP, CANopen, применение которых стандартизировано в рамках IEC 61800.

Как правило, разработчики прикладного ПО не описывают логику управления электроприводом напрямую в терминах переключения между различными режимами работы, описанными в стандарте IEC 61800. Вместо этого разработка прикладного ПО ведется в специализированных средах разработки на более высоком уровне абстракции. Основными элементами в этих средах служат функциональные блоки (далее – ФБ), для которых определены наборы входных и выходных переменных, а также действия, выполняемые электроприводом в результате их вызова. В сравнении с режимами работы стандарта IEC 61800, ФБ могут определять более сложные режимы работы и действия. Например, одним из встречающихся на практике является ФБ MC_PositionProfile, в результате выполнения которого электропривод должен последовательно переместиться между заданным набором позиций через заданные интервалы времени. Задачей разработчика прикладного ПО в этом случае становится комбинирование между собой экземпляров различных ФБ с целью получения нужной ему траектории движения электропривода. Для этой цели используются специализированные текстовые и графические языки программирования, как например, язык структурированного текста ST или графический язык функциональных блоковых диаграмм FBD. Синтаксис и семантика этих и других языков стандартизованы в одной из частей стандарта IEC 61131-3. Спецификация PLCopen, в свою

очередь, определяет для сред разработки номенклатуру и интерфейс рекомендуемых к реализации ФБ (поддерживается в ряде широко известных сред разработки, как например, CODESYS или Beckhoff TwinCAT). Таким образом, на среду разработки ложатся дополнительные сервисные функции по трансляции экземпляров ФБ в команды управления электроприводом в соответствии со стандартом IEC 61800. Как правило, они реализуются в виде вспомогательных библиотек управления движением (Motion Control Libraries) и средств кодогенерации, включаемых в состав сред разработки.

Одним из недостатков существующих решений по автоматизации систем управления в контексте стратегической цели по импортозамещению иностранного ПО можно считать их проприетарность. В связи с этим актуальной задачей является разработка отечественных средств автоматизации.

В настоящей работе на примере нескольких алгоритмов продемонстрированы возможные подходы к реализации ФБ MC_PositionProfile. Эти подходы исследовались в рамках разработки среды исполнения прикладного ПО для Багет-ПЛК1/2 [5,6] на основе операционной системы реального времени ОСРВ Багет 3.х [7] и совместно с использованием свободно распространяемой среды разработки Beremiz [8].

2. Описание интерфейса ФБ MC_PositionProfile

MC_PositionProfile является одним из ФБ, рекомендуемых к реализации в спецификации PLCopen. Согласно требованиям спецификации, одной из обязательных входных переменных для ФБ MC_PositionProfile должна являться переменная TimePosition, которая фактически является ссылкой на массив из пар (dT_i, p_i) произвольной длины N . Для простоты исключим из дальнейшего рассмотрения буферизацию при выполнении последовательных экземпляров ФБ (управляется при помощи необязательной по требованиям спецификации PLCopen входной переменной BufferMode) и будем рассматривать только случай немедленного начала движения при вызове экземпляра ФБ MC_PositionProfile. Тогда при вызове электропривод из своей текущей позиции p_0 должен последовательно переместиться между позициями $p_i, i = \overline{1, N}$ через заданные интервалы времени длины $dT_i, i = \overline{1, N}$. При этом спецификация PLCopen не определяет явным образом конкретную траекторию при обходе позиций $p_i, i = \overline{1, N}$. Данная задача имеет множество способов

решения. Несколько из них предложены в следующих разделах.

3. Описание режима работы электропривода PV

Для построения возможных решений задачи вычисления траектории для ФБ MC_PositionProfile будем использовать команды переключения электропривода в режим работы Profile Velocity Mode (далее – PV). Приведем краткое описание данного режима работы электропривода. Согласно спецификации CiA 402, требования которой закреплены в стандарте IEC 61800, при переключении в режим PV электропривод должен совершать движение, которому соответствует график скорости, изображенный на Рис. 1.

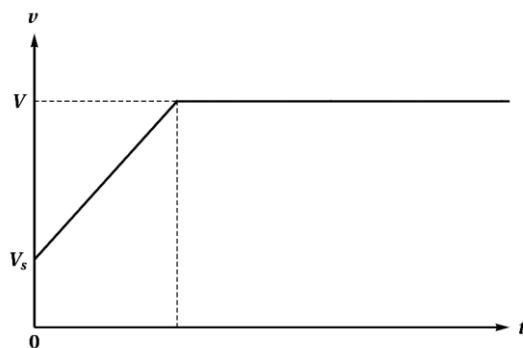


Рис. 1. График скорости в режиме PV

Управляющими параметрами движения электропривода в режиме PV являются:

- V – скорость движения электропривода, которую необходимо достичнуть и далее поддерживать постоянной;

- a – ускорение электропривода на участках движения, на которых энергия электропривода возрастает (т.е. на участках увеличения скорости электропривода по абсолютной величине; должна задаваться как положительная величина);

- d – торможение (аналогично ускорению, но используется на участках движения, на которых энергия электропривода убывает; также должно задаваться как положительная величина).

При этом, как видно из Рис. 1, скорость движения электропривода V_s в начальный момент времени может быть ненулевой (например, если команда переключения в режим PV прервала выполнение другой ранее полученной команды).

Также следует отметить, что на Рис. 1 изображен пример движения, при котором скорости V_s и V имеют одинаковый знак, поэтому движение электропривода состоит из двух

участков: участка разгона с ускорением a (поскольку $0 < V_s < V$) и участка движения с постоянной скоростью V . В том случае, если начальная и конечная скорость имеют разные знаки, а значения a и d отличаются по величине, график скорости уже будет состоять из трех участков, т.к. при переходе через нулевое значение скорости наклон графика будет меняться (электропривод переходит от торможения с ускорением d к разгону с ускорением a). В предлагаемых ниже способах решения задачи рассматривается только случай $a = d$. Для него график скорости останется состоящим из двух участков даже в случае несовпадения знаков V_s и V , т.к. участки разгона и торможения на графике скорости будут иметь одинаковый наклон

4. Способ 1. Кусочно-линейная функция скорости с участками движения с постоянной скоростью

Как уже было сформулировано выше, задача построения траектории движения, проходящей через позиции p_i через интервалы времени длины dT_i , имеет множество решений. Например, может быть построено семейство решений с полной остановкой электропривода в каждой промежуточной позиции p_i . Однако такие решения в большинстве случаев не будут являться практическими из-за частой смены

участков разгона и торможения, нужных только для того, чтобы обеспечить полную остановку электропривода в позициях p_i . Построим другое решение задачи с более плавным изменением скорости при перемещении через позиции p_i .

Для однозначной разрешимости задачи введем управляющий коэффициент $0 < \alpha < 0.5$. Будем искать решение задачи в таком виде, чтобы:

- на участках $\sum_{k=1}^{i-1} dT_k + \alpha dT_i \leq t \leq \sum_{k=1}^{i-1} dT_k + (1 - \alpha) dT_i, i = 1, N$ движение электропривода являлось поступательным с постоянными скоростями V_i ;

- на оставшихся участках функция скорости электропривода являлась линейной функцией времени t и определялась по непрерывности из условия, чтобы обеспечить переключение между соседними значениями V_i и V_{i+1} .

При этом необходимо дополнительно учесть краевые условия. В начальный момент времени $t = 0$ электропривод должен иметь позицию p_0 и скорость V_s . Краевое условие в конечной позиции p_N зададим как $V = V_e$, где V_e – обозначает заданное значение конечной скорости. В простейшем случае она может быть задана как нулевая, что будет приводить к полной остановке электропривода в момент завершения выполнения экземпляра ФБ МС_RotationProfile.

График функции скорости искомого решения задачи изображен на Рис. 2.

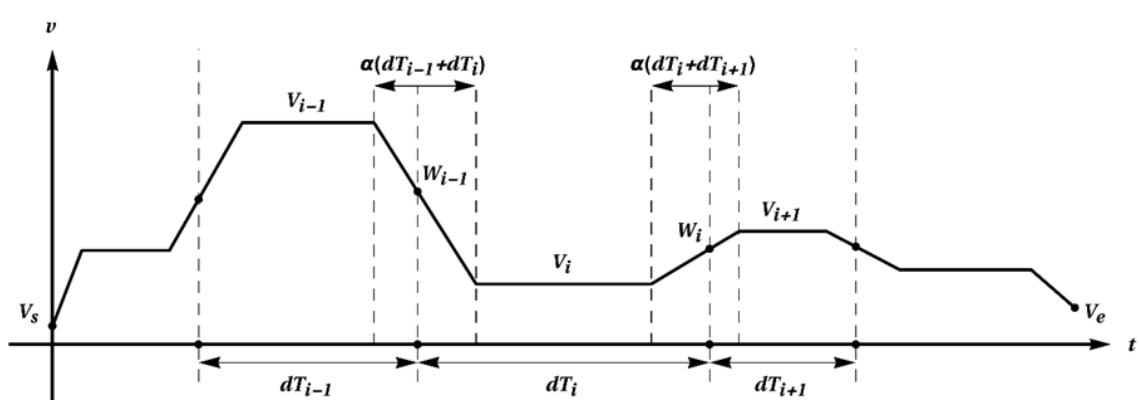


Рис. 2. График функции скорости искомого решения задачи

Введем обозначения W_i для значений скорости в точках $\sum_{k=1}^i dT_k, i = \overline{0, N}$ (значение $i = 0$ соответствует точке $t = 0$). Из линейности искомой функции скорости получаем:

$$\begin{aligned} W_i &= V_i + \frac{V_{i+1} - V_i}{\alpha(dT_i + dT_{i+1})} \alpha dT_i \\ &= \frac{dT_i}{dT_i + dT_{i+1}} V_{i+1} + \frac{dT_{i+1}}{dT_i + dT_{i+1}} V_i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i &= \overline{1, N - 1} \\ W_0 &= V_s, \quad W_N = V_e \end{aligned}$$

Скорости W_i соответствуют скоростям мотора в момент прохождения через позиции p_i .

С использованием введенных обозначений вычислим коэффициенты системы линейных уравнений для нахождения элементов массива скоростей $\{V_i, i = \overline{1, N}\}$. Для этого

воспользуемся тем, что изменение позиции на каждом временном отрезке определяется площадью под графиком скорости:

$$p_i = p_{i-1} + \frac{W_{i-1} + V_i}{2}(\alpha dT_i) + V_i(1 - 2\alpha)dT_i + \frac{V_i + W_i}{2}(\alpha dT_i), \quad i = \overline{1, N}$$

Отсюда получаем

$$2 \frac{p_i - p_{i-1}}{dT_i} = (W_{i-1} + V_i)\alpha + 2V_i(1 - 2\alpha) + (V_i + W_i)\alpha, \quad i = \overline{1, N}$$

При $i = \overline{2, N-1}$ подставим в уравнение выше вместо значений W_{i-1} и W_i их выражения через V_{i-1} , V_i и V_{i+1} и приведем подобные слагаемые:

$$\begin{aligned} 2 \frac{p_i - p_{i-1}}{dT_i} &= \frac{\alpha dT_i}{dT_{i-1} + dT_i} V_{i-1} \\ &+ \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_{i-1}}{dT_{i-1} + dT_i} + \frac{\alpha dT_{i+1}}{dT_{i+1} + dT_i}\right) V_i \\ &+ \frac{\alpha dT_i}{dT_{i+1} + dT_i} V_{i+1}, \quad i = \overline{2, N-1} \end{aligned}$$

При выводе уравнений для $i = 1$ и $i = N$ пользуемся тем, что $W_0 = V_s$ и $W_N = V_e$:

$$\begin{aligned} 2 \frac{p_1 - p_0}{dT_1} - \alpha V_s &= \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_2}{dT_1 + dT_2}\right) V_1 + \frac{\alpha dT_1}{dT_1 + dT_2} V_2, \\ 2 \frac{p_N - p_{N-1}}{dT_N} - \alpha V_e &= \frac{\alpha dT_N}{dT_{N-1} + dT_N} V_{N-1} \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_{N-1}}{dT_{N-1} + dT_N}\right) V_N \end{aligned}$$

Таким образом, мы получили систему линейных уравнений с трехдиагональной матрицей для нахождения неизвестных значений скоростей V_i , $i = \overline{1, N}$. Полученная матрица имеет строгое диагональное преобладание (для каждого из элементов матрицы на главной диагонали, его абсолютное значение превосходит сумму абсолютных значений всех остальных элементов матрицы в этой же строке). Для решения такой системы линейных уравнений можно применить метод прогонки [9].

Ускорения выражаются через найденные из решения системы линейных уравнений значения функции скоростей V_i :

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{V_1 - V_s}{\alpha dT_1} \\ a_i &= \frac{V_{i+1} - V_i}{\alpha(dT_i + dT_{i+1})}, \quad i = \overline{1, N-1} \\ a_N &= \frac{V_e - V_N}{\alpha dT_N} \end{aligned}$$

Итоговый алгоритм отправки команд электроприводу для реализации ФБ MC_PositionProfile имеет следующий вид:

- в начальный момент времени $t = 0$ электроприводу посыпается команда переключения в режим PV со значениями управляющих параметров $V = V_1$ и $a = d = |a_0|$;

- в каждый из моментов времени $\sum_{k=1}^{i-1} dT_k + (1 - \alpha)dT_i$, $i = \overline{1, N-1}$ электроприводу посыпается новая команда переключения в режим PV со значениями управляющих параметров $V = V_{i+1}$ и $a = d = |a_i|$;

- в момент времени $\sum_{k=1}^{N-1} dT_k + (1 - \alpha)dT_N$ электроприводу посыпается последняя команда переключения в режим PV со значениями управляющих параметров $V = V_e$ и $a = d = |a_N|$.

5. Способ 2. Кубический сплайн

Альтернативный способ реализации ФБ MC_PositionProfile основан построении траектории движения электропривода на основе кубического сплайна. В этом способе предполагается, что центральный процессорный модуль ПЛК для управления электроприводом с заданной и достаточно высокой частотой v выполняет отправку команд на переключение в режим работы PV с новыми значениями управляющих параметров V , a , d .

Для описания формул для вычисления коэффициентов кубического сплайна введем вспомогательные обозначения. Пусть

$$t_0 = 0, \quad t_i = \sum_{k=1}^i dT_k, \quad i = \overline{1, N}$$

Приблизим позицию электропривода на каждом из временных отрезков $[t_i, t_{i+1}]$, $i = \overline{0, N-1}$ при помощи следующих функций:

$$P_i(t) := A_i + B_i(t - t_i) + C_i(t - t_i)^2 + D_i(t - t_i)^3$$

Для кубического сплайна должен быть выполнен следующий набор условий:

$$\begin{aligned} P_0(t_0) &= p_0, \\ P_{i-1}(t_i) &= P_i(t_i) = p_i, \quad i = \overline{1, N-1}, \\ P_{N-1}(t_N) &= p_N \\ P'_i(t_{i+1}) &= P'_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2} \\ P''_i(t_{i+1}) &= P''_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2} \end{aligned}$$

Дополнительно введем обозначения для двух вспомогательных коэффициентов $A_N := P_{N-1}(t_N)$ и $C_N := P''_{N-1}(t_N)/2$.

Сведем задачу вычисления коэффициентов кубического сплайна к решению системы линейных уравнений относительно неизвестных C_i . Для этого сначала выразим все оставшиеся неизвестные A_i, B_i, D_i через C_i .

Из условий

$$\begin{aligned} P_i(t_i) &= p_i, \quad i = \overline{0, N-1} \\ A_N &= P_{N-1}(t_N) \end{aligned}$$

автоматически получаем

$$A_i = p_i, \quad i = \overline{0, N}$$

Из условия

$$P_i''(t_{i+1}) = P_{i+1}''(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

получим

$$D_i = \frac{C_{i+1} - C_i}{3 dT_{i+1}}, \quad i = \overline{0, N-2}$$

Из условия

$$P_i(t_{i+1}) = P_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

получим

$$B_i = \frac{A_{i+1} - A_i}{dT_{i+1}} - \frac{dT_{i+1}}{3} (C_{i+1} + 2 C_i), \quad i = \overline{0, N-2}$$

Подставим полученные выражения для D_i и B_i в условие

$$P_i'(t_{i+1}) = P_{i+1}'(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

и сгруппируем слагаемые при одинаковых C_i .

В результате получим следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{i+1}}{3} C_i + \frac{2}{3} (dT_{i+1} + dT_{i+2}) C_{i+1} + \frac{dT_{i+2}}{3} C_{i+2} \\ = \frac{A_{i+2} - A_{i+1}}{dT_{i+2}} - \frac{A_{i+1} - A_i}{dT_{i+1}}, \\ i = \overline{0, N-2} \end{aligned}$$

Для замыкания системы уравнений необходимо добавить еще два линейных уравнения. Для их получения воспользуемся краевыми условиями: скорость электропривода в начальный момент времени должна быть равна V_s , а в конечный момент времени – равна V_e . В таком случае из условия

$$V_s = P_0(t_0) = B_0 = \frac{A_1 - A_0}{dT_1} - \frac{dT_1}{3} (C_1 + 2 C_0)$$

получается дополнительное уравнение

$$\frac{2}{3} dT_1 C_0 + \frac{1}{3} dT_1 C_1 = \frac{A_1 - A_0}{dT_1} - V_s$$

Далее получим аналогичное уравнение с использованием V_e . Из условий

$$\begin{aligned} P_{N-1}(t_N) &= A_N \\ P_{N-1}'(t_N) &= V_e \end{aligned}$$

вытекает следующее тождество:

$$\begin{aligned} A_N - dT_N V_e &= P_{N-1}(t_N) - dT_N P_{N-1}'(t_N) \\ &= A_{N-1} - C_{N-1} dT_N^2 - 2 D_{N-1} dT_N^3 \end{aligned}$$

Выразим из полученного тождества D_{N-1} :

$$D_{N-1} = -\frac{A_N - A_{N-1}}{2 dT_N^3} + \frac{V_e}{2 dT_N^2} - \frac{C_{N-1}}{2 dT_N}$$

Подставим D_{N-1} в условие

$$C_N = \frac{P_{N-1}''(t_N)}{2} = C_{N-1} + 3 dT_N D_{N-1}$$

В результате получится дополнительное уравнение

$$\frac{1}{3} dT_N C_{N-1} + \frac{2}{3} dT_N C_N = -\left(\frac{A_N - A_{N-1}}{dT_N} - V_e\right)$$

Таким образом, мы снова получили систему линейных уравнений с трехдиагональной матрицей для нахождения неизвестных значений коэффициентов C_i , $i = \overline{0, N}$. Для ее

решения также можно применить метод прогонки. Для получения функции сплайна остается подставить полученные в результате решения системы значения C_i в выражения для коэффициентов A_i, B_i, D_i из формул выше.

При управлении электроприводом на каждом из отрезков времени $[t_i, t_{i+1}], i = \overline{0, N-1}$ скорость V , передаваемая в качестве параметра при отправке команды переключения в режим PV, каждый раз должна вычисляться в соответствии с функцией сплайна как $V = P_i'(t + 1/\nu)$, где t обозначает текущее время, а ν – частоту отправки команд. Соответствующие значения параметров a и d должны вычисляться как $a = d = |(V - V_{cur}) \nu|$, где V_{cur} – это текущее значение скорости электропривода в момент отправки новой команды.

Таким образом, алгоритм отправки команд электроприводу для реализации ФБ MC_PositionProfile при помощи кубического сплайна имеет следующий вид:

- при вызове экземпляра ФБ MC_PositionProfile выполняется расчет соответствующих ему коэффициентов сплайна A_i, B_i, C_i, D_i ;

- с заданной в настройках центрального процессорного модуля частотой ν выполняется отправка команды переключения электропривода в режим PV с новыми значениями управляющих параметров V, a, d , вычисляемыми в соответствии приведенными выше формулами.

Следует отметить, что в отличие от первого способа, при использовании кубического сплайна при обходе позиций p_i возникает погрешность, вызываемая тем, что в предлагаемом алгоритме скорость движения электропривода меняется не в точном соответствии со сплайном, а ступенчато. Поэтому перед применением данного способа необходимо предварительно оценить размер погрешности в зависимости от частоты ν и подобрать частоту ν таким образом, чтобы возникающая погрешность не влияла на выполнение технологического процесса.

6. Заключение

В работе рассмотрены подходы к реализации ФБ спецификации PLCopen для среды исполнения прикладного ПО для Багет-ПЛК1/2 на основе ОСРВ Багет 3.х.

Публикация выполнена в рамках государственного задания по проведению фундаментальных исследований по теме «Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений,

реализуемых на отечественных вычислительных системах» (FNEF-2024-0001 этап 2025 года, 1023032100070-3-1.2.1).

An Approach to Implementing Functional Blocks of the PLCopen Specification

N. D. Baykov, A. N. Godunov

Abstract. This paper examines possible approaches to implementing functional blocks for a control library for electrical power drives that is being developed as a replacement for foreign software in automated process control systems.

Keywords: functional block, motion control library, APCS, PLC

Литература

1. IEC 61800:2021 Adjustable speed electrical power drive systems. International Electrotechnical Commission. 2021.
2. IEC 61131:2023 Programmable controllers. International Electrotechnical Commission. 2023.
3. PLCopen Technical Committee 2. PLCopen Motion Control – Function Blocks – Part 1 & 2. Version 2.0. PLCopen. 2021.
4. CiA 402:2024 Device profile for drives and motion control. CAN in Automation. 2024.
5. ПЛК «БАГЕТ-ПЛК1» Руководство по эксплуатации ИОКСУ.421457.002РЭ. URL: https://niisi.ru/БАГЕТ-ПЛК1_РЭ.pdf (дата обращения: 16.10.2025).
6. ПЛК «БАГЕТ-ПЛК2» Руководство по эксплуатации ИОКСУ.421457.003РЭ. URL: https://niisi.ru/РЭ_ПЛК2_изм1.pdf (дата обращения: 16.10.2025).
7. А.Н. Годунов, В.А. Солдатов. Операционные системы семейства Багет (сходства, отличия и перспективы). «Программирование», (2014), № 5, с. 68–76.
8. Beremiz project. URL: <https://beremiz.org> (дата обращения: 16.10.2025).
9. Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. Численные методы. М., Лаборатория знаний, 2023.

An Approach to Implementing Functional Blocks of the PLCopen Specification

N. D. Baikov¹, A. N. Godunov²

¹Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow, Russia, nknikita@niisi.ras.ru;

²Scientific Research Institute for System Analysis of the National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow, Russia, nkag@niisi.ras.ru;

Abstract. This paper examines possible approaches to implementing functional blocks for a control library for electrical power drives that is being developed as a replacement for foreign software in automated process control systems.

Keywords: function block, motion control library, APCS, PLC

1. Introduction

This article is an authorized translation of the article in Russian, published in this issue of the journal.

Today, the widespread adoption of new process control systems, as well as the maintenance and improvement of the existing ones, is a priority for the economy. Due to its high importance and the diversity of application areas that need specific process control systems, over the years, many suppliers of equipment and off-the-shelf solutions have emerged on the market. Industry standards and other regulatory documents promote equipment compatibility. The most significant ones are IEC 61800 [1], IEC 61131 [2], and PLCopen's [3] specification.

The IEC 61800 standard consists of several parts representing requirements for performance and other aspects of adjustable speed electric drives. In particular, IEC 61800 includes several parts from IEC 61800-7-*, which specify communication and function profiles for adjustable speed electrical power drive systems. These requirements are based on the CiA 402 [4] specification, which defines commands for switching the electric drive modes. Some of these modes are moving the drive to a specified position or accelerating it to a specified velocity. Commands from the CPU module of the programmable logic controller (PLC) to the electric drive can be delivered in a number of ways, such as via the EtherCAT, PROFINET, EtherNet/IP, POWERLINK, Modbus TCP, and CANopen protocols standardized in IEC 61800.

As a rule, application software vendors do not use the operating modes listed in the IEC 61800 standard to describe the electric drive control logic. Application software is created in integrated development environments that provide a higher level of abstraction. The main components in such

environments are function blocks (FBs) with their input and output variables. Each FB, when executed, makes the electric drive perform a specific operation. FBs can define more complex modes and operations compared to those defined in the IEC 61800 standard. For example, there is the MC_PositionProfile FB. It sequentially moves the drive to a number of positions at specified intervals. The application software developer combines different FBs to obtain the desired electric drive behavior. For this purpose, there are graphic programming languages, such as ST (structured text language) or the FBD (function block diagrams). The syntax and semantics of these and other languages are standardized in one of the parts of the IEC 61131-3 standard. The PLCopen specification defines the range and interfaces of the recommended FBs (it is supported by many popular development environments, such as CODESYS or Beckhoff TwinCAT). In this way, a development environment translates FB instances into electric drive control commands in accordance with the IEC 61800 standard. For this, motion control libraries and code generation tools are included in the integrated development environment.

Most of these process control system development environments are proprietary and belong to international vendors. There is a demand for similar domestic solutions.

In this study, we analyzed several algorithms and presented a possible implementation of the MC_PositionProfile FB. We used an application runtime environment for Baget-PLC1/2 [5, 6] running on the Baget 3.x real-time operating system [7], and open-source development environment Beremiz [8].

2. MC_PositionProfile FB Interface

MC_PositionProfile is one of the FBs recommended for implementation in the PLCopen specification. According to the specification, one of the required input variables is TimePosition. It is a pointer to an array of pairs (dT_i, p_i) of arbitrary length N . For simplicity, we excluded buffering when multiple FB instances are executed in a sequence (this is controlled by the BufferMode input variable, which is optional according to the PLCopen specification). We only considered an immediate drive start upon executing an instance of the MC_PositionProfile FB. The electric drive must then move sequentially from its current position p_0 to positions $p_i, i = \overline{1, N}$ at specified intervals $dT_i, i = \overline{1, N}$. The PLCopen specification does not explicitly define the trajectory connecting the positions $p_i, i = \overline{1, N}$. There are many ways to solve this problem. We will discuss some of them in the following sections.

3. PV Electric Drive Mode

We used the Profile Velocity Mode (PV) to find possible trajectories for the MC_PositionProfile FB. Here is a brief description of this mode. According to the CiA 402 specification incorporated in the IEC 61800 standard, when the PV mode is on, the electric drive moves according to the velocity curve shown in Fig. 1.

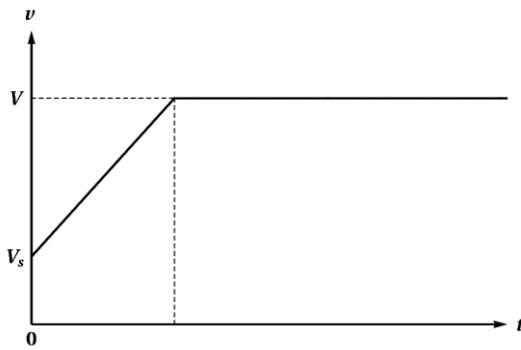


Fig. 1. PV mode velocity vs. time curve

The control parameters in PV mode are:

- V is the drive velocity to be reached and then maintained

- α is the drive acceleration (a positive value)

- d is the drive deceleration (also a positive value).

Fig. 1 shows that the drive velocity V_s at the initial moment may be non-zero (for example, if PV mode activation command interrupts the execution of a previously received command).

Also note that for the drive movement shown in Fig. 1 both velocities V_s and V have the same sign. There are two segments: velocity gain with acceleration a (since $0 < V_s < V$), and movement at constant velocity V . If the initial and final velocities have different signs, and a and d are not equal, the velocity curve consists of three sections because when the curve crosses the zero line, the slope angle changes (the drive goes from deceleration d to acceleration V_s). Below, we considered only the $a = d$ case. For this case, the velocity curve consists of two sections even if the signs of V_s and V differ (the acceleration and deceleration slope angles are equal).

4. Option 1. Piecewise Linear Velocity Function with Constant Velocity Segments

As stated above, multiple trajectories pass through positions p_i at intervals dT_i . For example, there is a family of solutions where the electric drive comes to a complete stop at each intermediate position p_i . However, most such solutions are impractical as they include frequently alternating acceleration and deceleration segments to ensure a complete stop at positions p_i . Let us find another solution with a smoother velocity variation when moving through positions p_i .

To make the problem unambiguous, we introduce a control coefficient $0 < \alpha < 0.5$. We seek a solution that meets the condition:

- in the $\sum_{k=1}^{i-1} dT_k + \alpha dT_i \leq t \leq \sum_{k=1}^{i-1} dT_k + (1 - \alpha)dT_i, i = \overline{1, N}$ sections, the drive moves steadily at constant velocities V_i

- on the remaining sections, the drive velocity is a linear function of time t . It must be continuous to switch between V_i and V_{i+1} .

Boundary conditions should also be met. At the initial moment $t = 0$, the drive must be at position p_0 and velocity V_s . The boundary condition at the final position p_N is $V = V_e$, where V_e is the desired final velocity. In the simplest case, it can be zero, and the drive stops as the MC_PositionProfile FB execution is completed.

The velocity curve for the sought solution is shown in Fig. 2.

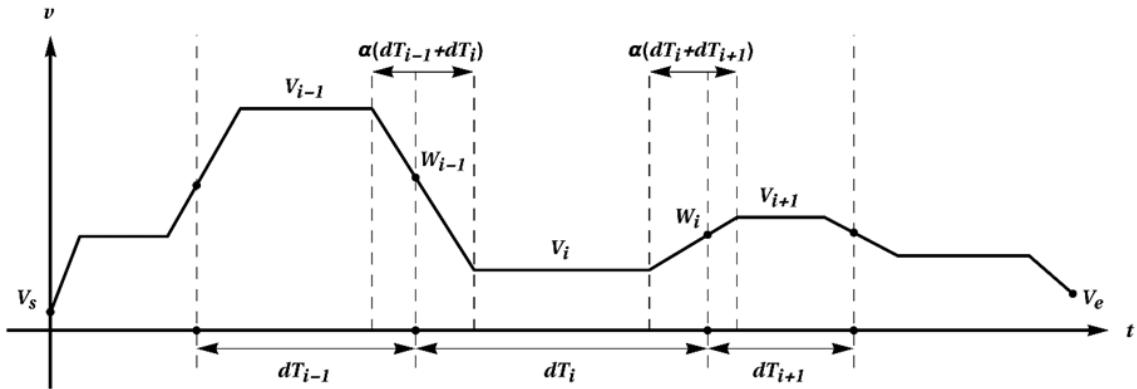


Fig. 2. Velocity curve for the sought solution

Let us denote the velocities at points $\sum_{k=1}^i dT_k, i = \overline{0, N}$ as W_i ($i = 0$ is at point $t = 0$). Since the desired velocity function is linear, we obtain:

$$\begin{aligned} W_i &= V_i + \frac{V_{i+1} - V_i}{\alpha(dT_i + dT_{i+1})} \alpha dT_i \\ &= \frac{dT_i}{dT_i + dT_{i+1}} V_{i+1} + \frac{dT_{i+1}}{dT_i + dT_{i+1}} V_i, \\ &\quad i = \overline{1, N-1} \end{aligned}$$

$$W_0 = V_s, \quad W_N = V_e$$

The drive reaches velocities W_i when reaching positions p_i .

Let us calculate the coefficients of the system of linear equations to find the elements of the velocity array $\{V_i, i = \overline{1, N}\}$. Note that the change in position at each time interval depends on the area under the velocity curve:

$$\begin{aligned} p_i &= p_{i-1} + \frac{W_{i-1} + V_i}{2} (\alpha dT_i) + V_i (1 - 2\alpha) dT_i \\ &\quad + \frac{V_i + W_i}{2} (\alpha dT_i), \quad i = \overline{1, N} \end{aligned}$$

Therefore, we obtain

$$\begin{aligned} 2 \frac{p_i - p_{i-1}}{dT_i} &= (W_{i-1} + V_i) \alpha + 2V_i (1 - 2\alpha) \\ &\quad + (V_i + W_i) \alpha, \quad i = \overline{1, N} \end{aligned}$$

For $i = \overline{2, N-1}$, we substitute W_{i-1} and W_i in the equation above with V_{i-1} , V_i and V_{i+1} , and combine like terms:

$$\begin{aligned} 2 \frac{p_i - p_{i-1}}{dT_i} &= \frac{\alpha dT_i}{dT_{i-1} + dT_i} V_{i-1} \\ &\quad + \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_{i-1}}{dT_{i-1} + dT_i} + \frac{\alpha dT_{i+1}}{dT_{i+1} + dT_i} \right) V_i \\ &\quad + \frac{\alpha dT_i}{dT_{i+1} + dT_i} V_{i+1}, \quad i = \overline{2, N-1} \end{aligned}$$

To deduct equations for $i = 1$ and $i = N$, we note that $W_0 = V_s$ and $W_N = V_e$:

$$\begin{aligned} 2 \frac{p_1 - p_0}{dT_1} - \alpha V_s &= \\ &= \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_2}{dT_1 + dT_2} \right) V_1 + \frac{\alpha dT_1}{dT_1 + dT_2} V_2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &2 \frac{p_N - p_{N-1}}{dT_N} - \alpha V_e \\ &= \frac{\alpha dT_N}{dT_{N-1} + dT_N} V_{N-1} \left(2 - 2\alpha + \frac{\alpha dT_{N-1}}{dT_{N-1} + dT_N} \right) V_N \end{aligned}$$

By now, we have obtained a system of linear equations with a tridiagonal matrix of coefficients that returns unknown velocities $V_i, i = \overline{1, N}$. The matrix is strictly diagonally dominant (for each element of the main diagonal, its absolute value exceeds the sum of the absolute values of all other elements in the same row). We can apply the tridiagonal matrix algorithm to solve such a system of linear equations [9].

Accelerations can be found from the values of the velocity function V_i found through solving the system of linear equations:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{V_1 - V_s}{\alpha dT_1} \\ a_i &= \frac{V_{i+1} - V_i}{\alpha(dT_i + dT_{i+1})}, \quad i = \overline{1, N-1} \\ a_N &= \frac{V_e - V_N}{\alpha dT_N} \end{aligned}$$

The final MC_PositionProfile control function logic is as follows:

- at the initial moment $t = 0$, the electric drive receives a command to switch to the PV mode with the control parameters $V = V_1$ and $a = d = |a_0|$

- at each moment $\sum_{k=1}^{i-1} dT_k + (1 - \alpha)dT_i, i = \overline{1, N-1}$, a new command is sent to the drive to switch to the PV mode with the control parameters $V = V_{i+1}$ and $a = d = |a_i|$

- at the moment $\sum_{k=1}^{N-1} dT_k + (1 - \alpha)dT_N$, the last command to switch to the PV mode is sent to the drive with control parameters $V = V_e$ and $a = d = |a_N|$.

5. Option 2. Cubic Spline

An alternative implementation of the MC_PositionProfile FB uses a cubic spline to represent the drive trajectory. We assume that the CPU module of the drive PLC can send commands to switch to the PV mode with updated control

parameters V , a , and d at a sufficiently high frequency ν .

To deduce equations for the cubic spline coefficients, let us introduce some notation. Let

$$t_0 = 0, \quad t_i = \sum_{k=1}^i dT_k, \quad i = \overline{1, N}$$

Let us approximate the drive position at each of the intervals $[t_i, t_{i+1}], i = \overline{0, N-1}$ using the following functions:

$$P_i(t) := A_i + B_i(t - t_i) + C_i(t - t_i)^2 + D_i(t - t_i)^3$$

The cubic spline must meet the following conditions:

$$\begin{aligned} P_0(t_0) &= p_0, \\ P_{i-1}(t_i) &= P_i(t_i) = p_i, \quad i = \overline{1, N-1}, \\ P_{N-1}(t_N) &= p_N \\ P'_i(t_{i+1}) &= P'_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2} \\ P''_i(t_{i+1}) &= P''_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2} \end{aligned}$$

Let us denote two auxiliary coefficients $A_N := P_{N-1}(t_N)$ and $C_N := P''_{N-1}(t_N)/2$.

We reduce the problem of finding the cubic spline coefficients to solving a system of linear equations in the unknowns C_i . For this, we express all remaining unknowns A_i, B_i, D_i in terms of C_i .

It follows from the conditions

$$\begin{aligned} P_i(t_i) &= p_i, \quad i = \overline{0, N-1} \\ A_N &= P_{N-1}(t_N) \end{aligned}$$

that

$$A_i = p_i, \quad i = \overline{0, N}$$

From the condition

$$P''_i(t_{i+1}) = P''_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

we obtain

$$D_i = \frac{C_{i+1} - C_i}{3 dT_{i+1}}, \quad i = \overline{0, N-2}$$

From the condition

$$P_i(t_{i+1}) = P_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

we obtain

$$B_i = \frac{A_{i+1} - A_i}{dT_{i+1}} - \frac{dT_{i+1}}{3} (C_{i+1} + 2 C_i), \quad i = \overline{0, N-2}$$

Let us substitute the expressions for D_i and B_i into the condition

$$P'_i(t_{i+1}) = P'_{i+1}(t_{i+1}), \quad i = \overline{0, N-2}$$

and combine the terms with identical C_i . The result is the following system of linear equations:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{i+1}}{3} C_i + \frac{2}{3} (dT_{i+1} + dT_{i+2}) C_{i+1} + \frac{dT_{i+2}}{3} C_{i+2} \\ = \frac{A_{i+2} - A_{i+1}}{dT_{i+2}} - \frac{A_{i+1} - A_i}{dT_{i+1}}, \\ i = \overline{0, N-2} \end{aligned}$$

To achieve system closure, two more linear equations must be added. To obtain them, we use the boundary conditions: the drive velocity at the initial moment must be V_s , and at the final moment, V_e . In this case, from the condition

$$V_s = P_0(t_0) = B_0 = \frac{A_1 - A_0}{dT_1} - \frac{dT_1}{3} (C_1 + 2 C_0)$$

we obtain an additional equation

$$\frac{2}{3} dT_1 C_0 + \frac{1}{3} dT_1 C_1 = \frac{A_1 - A_0}{dT_1} - V_s$$

Next, we obtain a similar equation from V_e . It follows from the conditions

$$\begin{aligned} P_{N-1}(t_N) &= A_N \\ P'_{N-1}(t_N) &= V_e \end{aligned}$$

that

$$\begin{aligned} A_N - dT_N V_e &= P_{N-1}(t_N) - dT_N P'_{N-1}(t_N) \\ &= A_{N-1} - C_{N-1} dT_N^2 - 2 D_{N-1} dT_N^3 \end{aligned}$$

Let us express D_{N-1} from the identity:

$$D_{N-1} = -\frac{A_N - A_{N-1}}{2 dT_N^3} + \frac{V_e}{2 dT_N^2} - \frac{C_{N-1}}{2 dT_N}$$

Let us substitute D_{N-1} into the condition

$$C_N = \frac{P''_{N-1}(t_N)}{2} = C_{N-1} + 3 dT_N D_{N-1}$$

As a result, we obtain an additional equation

$$\frac{1}{3} dT_N C_{N-1} + \frac{2}{3} dT_N C_N = -\left(\frac{A_N - A_{N-1}}{dT_N} - V_e\right)$$

Once again, we obtained a system of linear equations with a tridiagonal matrix that can be used to find unknown coefficients $C_i, i = \overline{0, N}$. It can also be solved with the tridiagonal matrix algorithm. To obtain the spline function, we substitute the system solutions C_i into the expressions for the coefficients A_i, B_i, D_i presented in the equations above.

At each interval $[t_i, t_{i+1}], i = \overline{0, N-1}$ the velocity V passed as a parameter in the PV mode activation command is calculated every time from the spline function as $V = P'_i(t + 1/\nu)$, where t is the current time, and ν is the command sending frequency. The parameters a and d are calculated as $a = d = |(V - V_{cur}) \nu|$, where V_{cur} is the current drive velocity at the moment of sending a new command.

The cubic spline MC_PositionProfile FB algorithm is as follows:

- Upon calling an FB MC_PositionProfile instance, the coefficients of the spline A_i, B_i, C_i, D_i are calculated

- A command to switch the drive to the PV mode with new control parameter values V , a , and d calculated from the equations above is sent to the drive at the frequency specified in the CPU module settings

It should be noted that, unlike the first option, the cubic spline algorithm applies to reach the positions p_i , an error occurs because the drive velocity does not follow the spline but changes in steps. Therefore, before applying Option 2, we must estimate the error that depends on the frequency ν and select such a frequency ν that the resulting error does not negatively affect the controlled manufacturing process.

6. Conclusion

This study examined possible implementations of FBs compliant with the PLCopen specification for the Baget-PLC1/2 application runtime environment running on the Baget 3.x real-time operating system.

This study is a part of the Deployment of Trusted AI Systems based on New Mathematical and Algorithmic Approaches and Fast Computing Models Compatible with Domestic Computer Hardware, a government contract for fundamental research (FNEF-2024-0001 stage 2025, 1023032100070-3-1.2.

References

1. IEC 61800:2021 Adjustable Speed Electrical Power Drive Systems. International Electrotechnical Commission. 2021.
2. IEC 61131:2023 Programmable Controllers. International Electrotechnical Commission. 2023.
3. PLCopen Technical Committee 2. PLCopen Motion Control – Function Blocks – Part 1 & 2. Version 2.0. PLCopen. 2021.
4. CiA 402:2024 Device Profile for Drives and Motion Control. CAN in Automation. 2024.
5. BAGET-PLC1 Operating Manual YKSU.421457.002RE. Available at: https://niisi.ru/БАГЕТ-ПЛК1_РЭ.pdf (last accessed: October 16, 2025) (in Russ.)
6. BAGET-PLC2 Operating Manual YKSU.421457.003RE. Available at: https://niisi.ru/РЭ_ПЛК2_изм1.pdf (last accessed: October 16, 2025) (in Russ.)
7. A.N. Godunov, V.A. Soldatov. Operating Systems Of The Baget Family (Likeness, Differences and Perspectives) Programming and Computer Software, (2014), No. 5, pp. 68–76.
8. Beremiz project. Available at: <https://beremiz.org> (last accessed: October 16, 2025)
9. N.S. Bakhvalov, N.P. Zhidkov, G.M. Kobelkov. Numerical Methods. Moscow, Knowledge Laboratory, 2023 (in Russ.)

Информационная карта наблюдения пациенток с естественной и хирургической постменопаузой

С. Ю. Лукашенко¹, Т. И. Рубченко²

¹НИЦ "Курчатовский институт - НИИСИ, Москва, Россия, s_lukashenko@mail.ru;

²tatiana-maxim@mail.ru

Аннотация. Приведена информационная карта наблюдения пациенток с естественной и хирургической постменопаузой. Карта разработана с использованием методов структурной организации данных для анализа течения климактерического периода у женщин и возможностей заместительной гормональной терапии (ЗГТ) в постменопаузальном периоде. Обсуждаются особенности использования карты для создания электронного банка данных.

Ключевые слова: медицинская информатика, искусственный интеллект, структурная организация данных, анализ данных, менопауза, постменопауза, заместительная гормональная терапия, минеральная плотность костной ткани, остеопороз, остеопения, денситометрия

1. Введение

Предложенная работа является одним из результатов совместных исследований врача гинеколога-эндокринолога, доктора мед. наук Рубченко Татьяны Ивановны и математика, сотрудницы ОПМИ НИЦ "Курчатовский институт" - НИИСИ, кандидата физ.-мат. наук Лукашенко Светланы Юрьевны.

За двадцать лет совместных исследований авторами подготовлен ряд научных публикаций в медицинских изданиях, в 2022 году была опубликована статья в одном из номеров данного журнала [1].

В наших исследованиях мы широко использовали методы медицинской информатики и инженерии знаний, разработанные академиком И.М.Гельфандом и его группой сотрудников-математиков, работавших с талантливыми врачами самых разных специальностей. Нестандартность подхода к решению научных проблем и широкая эрудиция являлась отличительной чертой этого замечательного ученого и его сотрудников.

Публикации об опыте совместной работы специалистов в области точных наук и врачей и сейчас вызывают огромный интерес и есть уверенность, что интерес к этим технологиям и методам структурной организации данных, изучению алгоритмов принятия решений высококлассными специалистами, будет только расти. Методы исследования, разработанные И.М.Гельфандом и его группой [2], такие как "диагностические игры", сейчас уже стали классикой, применяются не только в

медицинских исследованиях, и их роль при разработке современных систем искусственного интеллекта (ИИ) трудно переоценить.

Любое исследование начинается с выявления структур (языка описания), используемых специалистами при решении проблем данной предметной области. Так, например, у врачей, работающих в кардиологическом отделении и занимающихся лечением инфаркта миокарда, у гинекологов-эндокринологов, корректирующих осложненное течение климактерического периода в постменопаузе, у нейрохирургов, изучающих риски развития рецидива аденомы гипофиза и у микропедиатров, занимающихся выхаживанием новорожденных с задержкой внутриутробного развития плода, язык описания проблемы (структурная организация понятий) будет разной. При этом любознательный врач-исследователь приходит к математику всегда с одной и той же проблемой - как выбрать из возможных вариантов лечения оптимальное? И как раз этот вечный вопрос выбора лечения в его прямой формулировке не пригоден для проведения научного исследования из-за отсутствия верификации. В процессе работы с использованием методов инженерии знаний выявляется, развития какой же именно неблагоприятной ситуации опасается врач и, в идеальном случае, удается переформулировать вопрос как прогностический. Это особенно характерно для ситуаций связанных с острыми состояниями пациентов. Например, вопрос ставится как прогноз рецидива кровотечения у пациентов, поступивших в клинику с язвенной болезнью желудка, осложнившейся

кровотечением или как прогноз исхода заболевания у пациентов с инфарктом миокарда. В случае прогноза летального исхода при инфаркте миокарда это отнюдь не значит, что такого пациента не надо лечить, а можно и не кормить. Такой прогноз означает, что стандартного способа лечения недостаточно и этот пациент нуждается в дополнительном внимании, интенсивном и, возможно, нестандартном лечении.

Интересной группой задач является и проблема выбора между двумя видами лечения, например (см. [2], глава 8), между хирургическим и консервативным (неинвазивным). Для решения одной из таких проблем были построены прогнозы исхода заболевания для каждого из этих методов и в случае расхождения прогноза исхода, при клиническом испытании результатов прогнозирования, врачи, как правило, решительно выбирали лечение, связанное с более "удачным" прогнозом. При этом прогностические правила ни в какой степени не являются заменой решений, принимаемых лечащим врачом, на котором лежит вся ответственность за пациента, а занимают свою достойную роль "дополнительного" метода исследования.

Либо вопрос выбора лечения переводится в вопрос построения классификаций с разделением изучаемых групп по степени риска развития патологии. Так, например, у пациенток с рубцом на матке очень важным является выделение группы высокого риска по вынашиванию плода. Беременные с рубцом на матке из группы риска по вынашиванию нуждаются в пересмотре схемы ведения, с подключением стационарного наблюдения в "критические сроки", выбора оптимальных сроков родоразрешения и характера подготовки к нему, что необходимо для сохранения здоровья как матери, так и будущего новорожденного. Вместе с тем, в исследованиях такого типа важным является и выделение групп с низким уровнем развития осложнений, то есть с "благоприятным" течением беременности, несмотря на осложняющий фактор наличия рубца на матке. Для значительной доли пациенток мы, таким образом, снижаем ятрогенный фактор, убирая "лишние" обследования, которые для беременной женщины также могут быть причиной состояния повышенной тревожности и эмоциональной нестабильности (см. [3]). Такой подход дает и значительный экономический эффект, приводя к снижению затрат на ведение пациенток.

Задачи прогностические, классификационные и дифференциального диагноза зачастую

очень тесно переплетены между собой. Так, при ишемической болезни сердца (ИБС), при изучении связи между клинической картиной течения заболевания, типами нарушения электрокардиограмм и коронарограмм, исследователи неизбежно пришли к построению классификаций типов повреждения коронарных артерий, ЭКГ и соответствующих вариантов клинического течения заболевания. При изучении хронического гломерулонефрита и прогноза развития хронической почечной недостаточности (ХПН), построена классификация морфологических типов повреждения почек при данном заболевании (см. [2], глава 14).

В какой-то степени будет правильно сказать, что первой материализацией структурной организации данных в процессе работы математиков и врачей являлись разработанные информационные карты, на основе которых в дальнейшем создавались электронные банки данных. Карты разрабатывались как для проведения какого-то конкретного локального научного исследования, так и многоцелевые, которые нередко использовались в дальнейшем как основа для создания электронной истории болезни или какого-то ее фрагмента. Карты публиковались отдельными изданиями, а также в виде разделов более крупных публикаций, в том числе книг, [2], [4] [5], [6], [7].

Данная статья является продолжением этой традиции.

Темой нашего исследования являлось комплексное изучение здоровья женщин в постменопаузе и возможностей коррекции проявлений эстроген-дефицитного состояния с использованием заместительной гормональной терапии (ЗГТ). Клиническую манифестацию этого состояния иначе называют климактерическим синдромом.

В статье представлена информационная карта (рис. 1-6), которая использовалась при совместной работе врача и математика, изучавших эту тему и выявивших за 20 лет совместной работы множество интересных, а порой и необычных закономерностей, характеризующих этот сложный период жизни женщины. Тема здоровья женщин в постменопаузе крайне актуальна и неисчерпаема и мы надеемся, что данная публикация будет полезна другим исследователям, работающим в этом направлении.

Основная причина назначении ЗГТ – устранение климактерического синдрома, который резко ухудшает качество жизни женщины.

КАРТА ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТКИ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ПОСТМЕНОПАУЗОЙ № _____	
Фамилия, имя, отчество _____	Возраст _____
Дата рождения _____	Адрес _____
Телефон _____	Амбулаторная карта _____
АНАМНЕЗ:	
Менструации с _____ лет, по _____ дней, через _____	
Половая жизнь с _____ лет, в настоящее время _____	
Детородная функция: беременны _____ родов _____ абортировали _____ выкидышей _____	
Нарушения цикла с _____ лет, за _____ (лет, мес) до последней менструации, по типу + атрезии, + персистенции.	
Дата последней менструации _____	
Длительность (лет, мес) постменопаузы _____ перименопаузы _____	
+ Гормональная терапия в анамнезе:	
+ в репродуктивном периоде: _____ + горм. контрацепция _____	
+ в перименопаузе _____	
+ в постменопаузе _____	
Перенесенные заболевания: (в каком возрасте заболела, в каком периоде)	
+ Гинекологические:	
+ миома матки: + единичная + множественная; + гиперплазия эндометрия _____	
+ инфекционно-воспалительные: + эрозии шейки матки _____	
+ сальпингофорит _____ + кольпит _____ + цервицит _____ другие _____	
+ эндометриоз _____	
+ кисты и кистомы яичников _____ другие _____	
+ Гинек. операции: _____	
+ Экстрагенитальные:	
+ ЖКТ: + холецистит _____ + ЖКБ _____ др. _____	
+ ССС: + ГБ _____ + ИБС _____ + ВСД _____ + варикоз вен НК др. _____	
+ Эндокринной системы: + АИТ _____ + гипотиреоз _____ + др. _____	
+ Опорно-двигательного аппарата: + остеохондроз _____ + др. _____	
+ другие заболевания _____	
+ Операции: _____	
+ Травмы: + переломы предплечья _____ + другие _____	
Приливы: появились в _____ лет, продолжались : до _____ лет;	
+ до сих пор + нет и не было	
частота _____ в день. Оценка: + слабые, умеренные, интенсивные	
В перименопаузе: _____	
Потливость: + нет, + слабо выражена, + умеренная, + выраженная _____	
Симптомы УГН появились с _____ лет _____	
Семейный анамнез (заболевания и причины смерти близких родственников): _____	

Рис. 1. Информационная карта, часть 1

<p>ОСМОТР, дата _____ Гинекологический осмотр _____</p> <p>Осмотр молочных желез _____</p> <p>Телосложение: + женское, + кукингоидное. Гирсутизм: + нет + есть. Гипертрихоз: + нет + есть.</p> <p style="text-align: center;">НАЗНАЧЕНО:</p> <p>+ ЗГТ (дата, препарат) _____ (дата, препарат) _____</p> <p>+ Кальций (дата, препарат) _____ (дата, препарат) _____</p> <p>+ Препараты местного действия для лечения УГН _____</p> <p>Другие _____</p> <p style="text-align: center;">Менструальноподобная реакция на фоне ЗГТ</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Дата исследов, препарат</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">1 месяц</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">2-й мес</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">3-й мес</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">_ месяц</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">_ месяц</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">На какой таблетке началась</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Сколько дней продолжалась</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Обильно, умеренн, скучно, капли</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Болезненно или нет</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Жалобы (в соответствии с индексом Куппермана)</p> <p>Каждый симптом оценивается по степени тяжести: 0 - отсутствие его, степень выраженности соответствующего симптома 1 - легкая, 2 - средняя, 3-тяжелая.</p> <p>Степень тяжести симптома затем умножается на следующий коэффициент: 4 для 1-го симптома, 2 - для 3-х последующих и 1 - для остальных).</p> <p>Полученные баллы суммируются. Климатические рас-ва относятся к тяжелым при оценке больше 35 баллов, к средней тяжести при сумме баллов 20-35 и к легким - 15-20 баллов.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Дата, препарат</th> <th rowspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">До лечен</th> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">1 месяц</th> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">3 месяца</th> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">6 мес</th> <th colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">12 мес</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э+Г</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э+Г</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э+Г</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">Э+Г</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Приливы</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Потливость</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Нарушения сна</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Раздражительность</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Депрессия</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Нарушен памяти</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Головокружение</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Головная боль</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Боль в суставах</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Сердцебиения</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 5px;">Сумма баллов</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> </tbody> </table>	Дата исследов, препарат	1 месяц	2-й мес	3-й мес	_ месяц	_ месяц	На какой таблетке началась						Сколько дней продолжалась						Обильно, умеренн, скучно, капли						Болезненно или нет						Дата, препарат	До лечен	1 месяц		3 месяца		6 мес		12 мес		Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г	Приливы									Потливость									Нарушения сна									Раздражительность									Депрессия									Нарушен памяти									Головокружение									Головная боль									Боль в суставах									Сердцебиения									Сумма баллов								
Дата исследов, препарат	1 месяц	2-й мес	3-й мес	_ месяц	_ месяц																																																																																																																																														
На какой таблетке началась																																																																																																																																																			
Сколько дней продолжалась																																																																																																																																																			
Обильно, умеренн, скучно, капли																																																																																																																																																			
Болезненно или нет																																																																																																																																																			
Дата, препарат	До лечен	1 месяц		3 месяца		6 мес		12 мес																																																																																																																																											
		Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г																																																																																																																																										
Приливы																																																																																																																																																			
Потливость																																																																																																																																																			
Нарушения сна																																																																																																																																																			
Раздражительность																																																																																																																																																			
Депрессия																																																																																																																																																			
Нарушен памяти																																																																																																																																																			
Головокружение																																																																																																																																																			
Головная боль																																																																																																																																																			
Боль в суставах																																																																																																																																																			
Сердцебиения																																																																																																																																																			
Сумма баллов																																																																																																																																																			

Рис. 2. Информационная карта, часть 2

Урогенитальные нарушения:					
+ легкой степени, ++ средней, +++ тяжелые, (-) - отсутствуют					
Дата осмотра, препарат	До лечен	1 месяц	3 мес	6 мес	12 мес
Сухость во влагалище					
Зуд во влагалище					
Кольпит					
Диспареуния					
Опущение стенок влагалища					
Частое мочеиспускание					
Болезненное мочеиспускание					
Недержание мочи					

Динамика массо-ростовых показателей, АД					
Дата иссл., препарат	До лечения	1 месяц	3 месяца	6 мес	12 мес
Рост					
Масса тела					
ИМТ					
Окружность талии					
Окружность бедер					
ОТ/ОБ					
АД систолическое					
АД диастолическое					

Данные УЗИ органов малого таза до лечения и на 5-8 день «менструации»					
Дата исследов., препарат	До лечения	1 месяц	3 месяца	6 мес	12 мес
Размеры матки					
М-эхо					
Миомы - кол-во					
Размеры: 1-ой					
2-ой					
3-ей					
Размер пр. яичника					
Размер лев. яичника					
Особенности					

Рис. 3. Информационная карта, часть 3

Гормоны крови								
Дата исслед, препарат	До лечен	1 месяц		3 месяца		6 месяцев		12 месяцев
		Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э
ЛГ								
ФСГ								
Пролактин								
Эстрон								
Эстрадиол								
Тестостерон								
ДГЭАС								
Андростендион								
ТТГ								
Т3								
Т4								
Кортизол								
17 ОП								

Биохимический состав крови								
Дата исследов, препарат	До лечен	1 месяц		3 месяца		6 месяцев		12 месяцев
		Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э	Э+Г	Э
ОХ								
ТГ								
ЛПНП								
ЛПВП								
КА								
Сахар								
Кальций								
Фосфор								
Щел. фосфатаза								
Фибриноген								
Фибр. актив								
Пр. индекс								
Остеокальцин								

Допплерографическое исследование кровотока в сосудах головного мозга								
Дата иссл. _____ препарат _____ длит. приема _____								

	Справа			Слева		
	Vmax, м/с	Vsr, м/с	RI	Vmax, м/с	Vsr, м/с	RI
Бифуркация сонной артерии						
Общая сонная артерия						
Внутренняя сонная артерия						
Наружная сонная артерия						
Глазная артерия						
Вертебральная артерия						

Рис. 4. Информационная карта, часть 4

Денситометрия (ККТ)			
Дата исследования, препарат	До лечения	Через 6 мес	Через 12 мес
МПКТ L2			
МПКТ L3			
МПКТ L4			
МПКТ L2 –L4			
T-критерий			
Z-критерий			

Денситометрия (DRA)					
Дата иссл.	препарат	длить приема			
	BMD(g/cm ²)	T-Score	PR(%)	Z-Score	AM(%)
L1					
L2					
L3					
L4					
L1-4					
Neck					
Troch					
Inter					
TOTAL					
Ward					

Цитологическое и бактериоскопическое исследование
(+ наличие, – отсутствие инфекции; не заполнено – отсутствие исследования)

Дата исследования, препарат	До лечения	— мес	— мес	— мес
Повыш лейкоциты				
Хламидии				
Уреаплазма				
Герпес				
ЦМВ				
Трихомонады				
Гардиереллы				
Кандида				
Отсутствие флоры				

Мазок на онкологическое исследование

Дата исследования _____ Длительность постменопаузы _____

Лечение (препарат и длительность приема) _____

Патология: + нет, + атрофический тип мазка, + есть:

Рис. 5. Информационная карта, часть 5

Маммография	
Дата исследования _____	Длительность менопаузы _____
Лечение (препарат и длительность приема) _____	
Результат исследования: + норма + есть патология:	
+ фиброзно-жировая инволюция	
+ фиброзно-кистозная мастопатия: + без преобладания какого-либо компонента	
+ с преобладанием фиброзного компонента	
+ с преобладанием железистого компонента	
+ узловые образования _____	
+ рак молочной железы _____	
 Дополнительные сведения _____ _____ _____	

КАРТА ОБСЛЕДОВАНИЯ ПАЦИЕНТКИ С ХИРУРГИЧЕСКОЙ	
ПОСТМЕНОПАУЗОЙ № _____	
(дополнительные параметры)	
Дата операции _____	В возрасте _____ лет
Какая операция: + гистрэктомия с овариоэктомией	
+ гистрэктомия с сохранением яичниковой ткани:	
правый яичник: + сохранен + резецирован + удален	
левый яичник: + сохранен + резецирован + удален	
 Основная причина операции:	
+ доброкачеств. опухоли гениталий _____	
+ воспалительные заболевания _____	
+ эндометриоз _____	
другая _____	
Прием гормональных препаратов:	
+ До операции _____	
+ После операции (до начала наблюдения) _____	

Рис. 6. Информационная карта, часть 6

Горячие приливы в сочетании с повышенной потливостью, расстройство сна, ухудшение памяти; головокружения, боли в позвоночнике, суставах и мышцах, повышенная тревожность и нервозность – все это приводит к ухудшению самочувствия женщины, снижению ее работоспособности и возникновению проблем в социуме. Задача коррекции климактерического

синдрома успешно решается назначением любого из современных препаратов ЗГТ. Вместе с тем, спектр воздействия ЗГТ на здоровье женщины очень широк.

Эти препараты влияют на биохимические показатели крови, в том числе на липидный профиль крови, на параметры центральной гемодинамики, на изменение плотности костной

ткани, позволяют профилактировать развитие постменопаузального остеопороза (ПО) – разжижения костной ткани до степени высокого риска переломов

По данным разных исследователей средний возраст наступления естественной менопаузы (ЕМ) - 48-51 год, менопауза - дата остановки менструальной функции. У женщин с хирургической менопаузой (ХМ), то есть с удаленной маткой (гистерэктомией) в репродуктивном возрасте, менопауза - дата операции. То есть, у женщин с ХМ период постменопаузы наступает в более раннем возрасте, доля женщин, перенесших эту операцию в репродуктивном возрасте, достигает 20%, в странах северной Европы существенно выше. Таким образом, среднестатистическая россиянка около трети своей жизни проводит в состоянии постменопаузы. Или, иначе, в этом периоде жизни находится более трети женского населения страны, и эта доля растет. При этом ожидается, что при вступлении в этот период жизни женщина еще долго будет сохранять трудоспособность и социальную активность. Увеличивается длительность получения качественного образования молодежи, растет продолжительность жизни "родительского поколения" женщин этого возраста, что приводит к увеличению нагрузки для женщин по уходу за внуками и родителями старческого возраста, то есть их роль увеличивается не только в производственной сфере, но и в семье.

Около 40% женщин с естественной менопаузой (ЕМ), а также с гистерэктомией без овариоэктомии, и более 90% пациенток после пангистерэктомии (удаления матки с придатками) очень тяжело переживают период климактерических расстройств, который может длиться от нескольких месяцев до 10 лет, они нуждаются в назначении ЗГТ. Получение адекватной медицинской коррекции, позволяет женщинам не "уйти в болезнь" и справится как с физическими, так и психоневрологическими отклонениями, возникающими на фоне эстроген-дефицитных состояний, так понижающих качество жизни и женщины и всех ее близких. Выше мы перечислили признаки манифестиации климактерического синдрома, см. также рис. 2, таблицу для вычисления индекса Куппермана, классического способа определения тяжести климактерического синдрома. Не всегда весь букет климактерических расстройств реализуется в полном объеме, но это не сильно облегчает общее состояние женщины. Припоминая свое состояние в этот период, одна из авторов статьи отмечала, что острое чувство жалости к себе и недоумение - какими же равнодушными,

черствыми и бессердечными людьми могут быть близкие, было для нее маркером того, что она забыла выпить таблетку ЗГТ. А после таблетки жизнь уже не казалась такой уж грустной.

Карты пациенток с ЕМ и ХМ различаются, в основном, вводными данными, описанием перименопаузы в группе ЕМ и операции для ХМ, и почти не отличаются параметрами осмотров и лабораторных исследований. Мы приводим карту пациенток с ЕМ, а в следующем разделе, обсуждая правила и особенности ее заполнения, поясняем какие отличия могут быть для карты ХМ.

2. Карта пациенток с естественной постменопаузой, правила, особенности заполнения и ее отличия от карты хирургической постменопаузы

Данные об обследовании пациенток состоят из разделов, отличающихся по своей структуре. Так, например, клинико-анамнестические данные содержат одну строчку для каждой пациентки. Большинство же данных являются результатами динамических наблюдений и содержат данные исследований, проведившихся неоднократно для каждой пациентки, они отражают значения параметров, изменяющихся в течение времени наблюдения. Таких таблиц динамического изучения клинических и лабораторных параметров много, количество исследований пациентки разными методами может отличаться. Например, если определение массы пациентки, данные ультразвукового исследования, определения биохимического исследования крови и некоторых других параметров "привязаны" к посещению пациенткой лечащего врача, то маммография или исследования минеральной плотности костной ткани (МПКТ) с использованием количественной компьютерной томографии (ККТ) проводятся реже. Таким образом, структура банка данных довольно сложная.

Первая страница карты содержит идентификационные и анамнестические данные пациентки.

Первые три строки анамнеза (менархе, половая жизнь, детородная функция) являются стандартными для любой гинекологической карты.

Следующие параметры, предшествующие блоку данных о перенесенных заболеваниях, являются очень важными именно для пациенток с естественной постменопаузой. Основным

таким параметром, можно сказать точкой отсчета этого периода, является менопауза - дата последней менструации. Эта дата считается подтвержденной после года наблюдения за пациенткой. Мы не можем сказать, что в настоящий момент времени длительность постменопаузы равняется 10-11 месяцев, в этом случае диагностируется перименопауза. Когда же эта длительность отсутствия менструации достигает 12 месяцев, можно сказать, что постменопауза наступила и ее длительность один год. Менструальноподобные выделения после года отсутствия месячных уже рассматриваются как постменопаузальные маточные кровотечения. Пациенткам с ЕМ назначение ЗГТ возможно, если длительность постменопаузы более года (при желании женщины и отсутствии противопоказаний), возрастное ограничение как для ЕМ, так и для ХМ - 60 лет.

Датой наступления хирургической постменопаузы считается дата операции (гистерэктомии), длительность постменопаузы может исчисляться нескользкими днями. Авторами было проведено интересное исследование изменения уровня половых стероидов в ближайшем и отдаленном послеоперационном периоде у пациенток с пангистерэктомией, а также у тех, кому яичниковая ткань при операции была сохранена, пусть и не в полном, но достаточном объеме, и у которых при технической постменопаузе, то есть отсутствии менструации, продукция половых стероидов осуществляется по правилам естественной менопаузы, см. [8]. Со временем, со снижением функции яичников, маркером эстроген-дефицитного состояния, требующего проведения лабораторных исследований и назначение ЗГТ, становится манифестация климактерического синдрома, а отсутствие матки расширяет выбор допустимых препаратов ЗГТ.

Этот блок данных о "вступлении" пациенток в период постменопаузы и является основным различием между картами ХМ и ЕМ. На последней странице карты (рис. 6) приведен блок данных об операции (гистерэктомии), которым в хирургической карте следует заменить данные о течении перименопаузы и постменопаузы до включения пациентки в исследование. Кроме того, из перечня обследования пациенток с ХМ следует исключить характеристики "Менструальноподобной реакции", а также отредактировать таблицу ультразвукового исследования органов малого таза. При пангистерэктомии она не нужна, а при операции с сохранением яичниковой ткани убираются параметры

обследования матки.

Раздел "Перенесенные заболевания", особенно гинекологические, в хирургической карте можно откорректировать для удобства заполнения. Работа по созданию карты, как "бумажной", так и "электронной", является долгой и кропотливой, и включает в себя много итераций. С самого начала работы, по мере заполнения карт, проводится анализ частоты встречаемости значений параметров. Эти параметры в карте, как правило, упорядочиваются по этой частоте, что упрощает работу с картой, а значит и снижает количество ошибок ввода данных. Так, основными причинами выполнения гистерэктомии являются: доброкачественные опухоли, эндометриоз и инфекционно-воспалительные заболевания.

Если миома матки часто выявляется у пациенток обеих групп, то частота выявления кист и кистом яичников, эндометриоза у пациенток с ХМ существенно выше, чем при естественной менопаузе. Пользователям карт следует самим решать, корректировать ли этот раздел или оставить одинаковым для обеих карт.

Разделы жалоб на основные проявления климактерических расстройств в анамнезе (приливы, потливость, урогенитальные нарушения), а также "Семейный анамнез", одинаковы для обеих карт.

В разделе "Семейный анамнез" также можно провести частотный анализ выявления семейных патологий, таких как сердечно-сосудистые заболевания (инфаркт, инсульт, ГБ и т.д.), онкологические (в том числе - связанные с репродуктивной системой и нет), диабет и другие.

Разделом "Осмотр" начинаются наши обследования пациенток, к этому первичному обследованию относятся и части всех дальнейших таблиц осмотров и исследований карты, маркированных "до лечения".

На основании всего комплекса полученных первичных исследований, анализа полученных данных, с учетом наличия индивидуальных показаний и противопоказаний, назначается лечение. При назначении лечения учитываются пожелания женщины, некоторые пациентки не готовы лечиться с использованием гормональных препаратов. Следует сказать, что таких пациенток совсем немного, что можно объяснить как тяжестью климактерических расстройств, так и широким доступом к информации о заместительной гормональной терапии (ЗГТ) и ее эффективности.

Карта, приведенная в этой публикации, использовалась авторами для проведения непродолжительного, длившегося всего один год,

но очень системно выполненного исследования 130 пациенток с естественной постменопаузой.

В таблицах карты стоят пометки, что исследование проводилось: до назначения лечения, через 3, 6 и 12 месяцев лечения.

Это исследование было выполнено в полном объеме и во все декларируемые сроки при активном участии врача-гинеколога кандидата мед. наук Соболевской Аллы Александровны.

При таких не слишком продолжительных исследованиях отслеживание изменений во времени таких параметров, как длительность менопаузы или возраст пациентки не представляют большой сложности, да и не имеют существенного значения, тем не менее и в этом случае мы настоятельно рекомендуем для всех анализах, осмотрах, исследованиях ставить дату их проведения.

Весь материал наших исследований включает данные более 800 пациенток и длительность лечения может составлять до 7 лет у пациенток с естественной постменопаузой и до 15 лет с хирургической, нередко наблюдения не прекращались с отменой ЗГТ. При длительных исследованиях уже очень существенным становится навигация во времени. Исходными данными, то есть точкой начала отсчета во времени являются возраст, дата последней менструации (операции), длительность постменопаузы на момент начала нашего наблюдения, дата назначения лечения, препарат. В дальнейшем для каждого анализа, осмотра, исследования в базе данных должны быть доступны соответствующие именно дате этого исследования данные о длительности постменопаузы, возрасте пациентки, препарате (ЗГТ, кальций и т.д.), длительности приема препарата, общей длительности приема ЗГТ при смене препарата. Раздел "Назначено" является нашим навигатором данных о лечении пациенток. При длительном наблюдении у значительной части пациенток с естественной постменопаузой происходит смена препарата ЗГТ. При небольшой длительности постменопаузы (1-3 года) обычно назначается двухфазный препарат ЗГТ, восстанавливающий "менструальную" функцию, затем назначается монофазный препарат, не вызывающий менструальнооподобной реакции, а в дальнейшем возможен перевод в пациентки на препараты типа "mini" - монофазные с пониженным содержанием как эстрогена, так и гестагена, которые, возможно, являются способом преодолеть ограничение 7 лет для приема ЗГТ женщинам с естественной менопаузой. В нашем исследовании препараты "mini" не изучались, надеемся, что наши последователи проведут эти интересные и

важные исследования. После гистерэктомии, как правило (при отсутствии эндометриоза), назначаются препараты не содержащие гестагены и, при исходном правильном подборе препарата, он не меняется, разве что при длительном приеме ЗГТ, в возрасте 53-57 лет, когда врач обсуждает с пациенткой вопрос об отмене ЗГТ. При категорическом отказе женщины от отмены возможно назначение препарата с пониженным содержанием эстрогена. Напомним, что возрастное ограничение для приема ЗГТ - 60 лет.

Коррекция или заполнение данных о возрасте и длительности постменопаузы соответствующих анализам, осмотрам и исследованиям, не несет каких-либо сложностей, если в базу данных аккуратно вводятся все даты, в любых программах базы данных есть возможности расчета продолжительности временного промежутка между датами.

Без сомнения, среди историй лечения и наблюдения окажется некоторое, обычно очень небольшое, количество сложных и необычных случаев. Мы рекомендуем вводить в базу данных текстовые параметры, в которых и описывались эти нестандартные ситуации, возможно с комментариями врачей. Либо этих случаев будет мало, либо мы довольно быстро получим словарь описания нестандартных ситуаций. Еще более быстрым и эффективным методом получения ответа на вопрос "чтобы это значило?" является разбор нестандартных ситуаций с использованием технологии "диагностических игр" даже в таких, казалось бы, чисто технических вопросах.

Наряду с параметрами карты мы рекомендуем вводить параметры (признаки) - классификаторы, являющиеся метками принадлежности к какой-либо из интересующих нас групп и служат для упрощения создания запросов при анализе данных, а также при написании программ анализа данных в пакетном режиме. Особенно это полезно при наличии нестандартных ситуаций, когда мы хотим проверить, какие будут результаты при включении нестандартной подгруппы в ту или иную группу наблюдений. Например, сравнивая группы принимающих на данный момент 2-фазный препарат Фемостон 2/10 и монофазный препарат Фемостон-Конти, также разделить последнюю группу на тех, кому он назначен сразу и тех, кто ранее принимал двухфазный, и посмотреть, например, отличалась ли у них динамика плотности трабекулярной костной ткани по данным количественной компьютерной томографии или биохимические параметры крови. Или, например, чем отличаются распределения этих параметров для тех, кому

одновременно еще были назначены препараты кальция. Классификаторы принадлежности к таким группам вычисляются и заполняются довольно легко, если аккуратно сделана электронная таблица нашего навигатора - раздела "Назначено".

На основе раздела "Назначено" нами в электронный банк данных для каждого препарата ЗГТ, из списка назначавшихся в исследовании, были введены параметры характеризующих статус его применения (не назначался, назначался и отменен, назначен) с датами назначения и отмены, длительностью применения, длительностью постменопаузы и возрастом пациентки на момент назначения, отмены, а также применения в настоящий момент. Такие же таблицы мы рекомендуем делать и для препаратов кальция, а также и для других видов лечения, значимых для проводимого исследования.

Аналогично, каждый осмотр и лабораторное исследование должно сопровождаться "шлейфом" данных о проведенном лечении и изменении временных параметров, и это крайне важно при длительных наблюдениях. Так, например, после 7 лет наблюдения за пациенткой, изучая результаты денситометрии (МПКТ), липидного профиля крови или даже просто маммографии, нам очень важно знать какое лечение она получала на протяжении этих лет. Или, сравнивая эти результаты с теми, которые были 4 года назад, понимать как пациентка лечилась последние четыре года, учитывая, что и возраст, и длительность постменопаузы за это время существенно "подросли". Так что напомним еще раз о нашей рекомендации всегда и везде аккуратно вводить даты. Даже если исследование спланировано на небольшой промежуток времени, например год или два, то кто знает - вдруг через 3-5 лет появиться счастливая возможность добраться до данных хотя бы части этих пациенток и посмотреть их "катамнез", и аккуратно собранный в предыдущем исследовании материал даст такую возможность.

Следующая таблица карты актуальна для пациенток с естественной постменопаузой, которым назначен препарат ЗГТ, восстанавливающий менструальную функцию, если высказывается совсем точно - дающий менструальноподобную реакцию. Как это ни странно, но, даже когда вполне уже можно назначить монофазный препарат и эту функцию не восстанавливать, некоторые пациентки хотят "восстановления менструации", возможно это дает им возможность почувствовать себя моложе.

Таблица "Жалобы, индекс Куппермана" довольно сложна, но представляет интерес

только в ближайший год после назначения ЗГТ, как яркая демонстрация успешности решения проблемы климактерических расстройств уже через несколько месяцев после назначения этих препаратов. У пациенток, не принимавших ЗГТ, также со временем происходит снижение тяжести климактерических расстройств, но этот процесс идет значительно медленнее. Проведя этот анализ года наблюдений, для более длительных исследований мы эту таблицу не использовали.

Заметим, что в последней таблице, а также в таблицах "Гормоны крови" и "Биохимический состав крови" для каждой метки срока, например "6 мес.", предусмотрены две графы значений параметра для двухфазных (или 1,2 фазы 3-фазных) препаратов. Проведение таких лабораторных исследований для всех этих пациенток вряд ли осуществимо в полном объеме из-за высокой стоимости анализов, но для какой-то подгруппы может быть и получится собрать материал и сравнить данные.

Таблицы "Урогенитальные нарушения" и "Динамика массо-ростовых показателей" содержат стандартные данные. Таблица "УЗИ малого таза" в полном объеме соответствуют карте естественной постменопаузы, при гистерэктомии с сохранением яичниковой ткани из таблицы следует удалить данные о матке, при пангистерэктомии таблица не нужна.

Следует сказать, что представление карты в данной публикации предложено в режиме полного представления анализированных параметров, но при этом - с жесткой экономией используемого пространства. В таблицах уменьшен не только шрифт, но и показан очень малый межстрочный интервал, мало места в первых строках таблиц и отсутствуют пустые строки для, возможно каких-то нестандартных, но интересных данных, отсутствует возможность у врача написать что-то, что ему хочется "на полях" карты. Хотя большинство таблиц представлены как наблюдения в динамике и содержат несколько столбцов данных, соответствующих некоторым исследованиям, но при многолетнем исследовании, даже если в дальнейшем пациентка будет приходить на прием лишь раз в год, их недостаточно. Данные маммографического исследования, мазка на онкологическое исследование, денситометрии ДРА, допплерографического исследования кровотока в сосудах головного мозга приведены в виде одного исследования, то есть этих таблиц или разделов в карте должно быть несколько - столько сколько исходно было запланировано. Если окончательное количество исследований не определено, то должны быть вкладыш с

дополнительными формами таблиц. Так в нашей базовой карте было включено четыре таблицы для данных денситометрии ДРА и сделаны дополнительные листы-вкладыши.

Обратим ваше внимание на такой технический момент, как название параметров. Так в таблице денситометрии ККТ и ДРА значения параметров написаны по-разному, по-русски и по-английски, например: Т-критерий и T-Score. Это сделано сознательно, все названия параметров в карте и в электронной базе выглядят так, как их видят врачи на бланках, получаемых им из лабораторий. Так, для ККТ использовались разработанные отечественные нормативы и распечатки были на русском языке, для оценки данных, полученных методом ДРА, использовалось программное обеспечение, закупленное с прибором. Целью такого подхода является максимально возможное снижение количества ошибок записей в карту или ввода данных в электронную базу. Тоже самое мы можем сказать и о данных допплерографического исследования кровотока в сосудах головного мозга, данные приведены в том виде, в каком их получал врач-клиницист. Можно отметить, что в западной литературе, в отличие от отечественной, при анализе чаще используется не индекс резистентности RI, а индекс пульсативности PI, который вычисляется из приведенных в таблице параметров. Авторы, проводя исследования кровотока во внутренней сонной артерии, см. [9], все-таки пришли к выводу, что индекс резистентности RI является более интересным и информативным параметром.

Остановимся чуть подробнее на исследовании костной ткани и изменениях ее плотности со временем. То, что на переднем крае борьбы с остеопорозом оказались гинекологи, вызвало в свое время удивление соавтора-математика, но, как оказалось, это обстоятельство кажется необычным и для некоторой части врачебного сообщества.

Плотность костной ткани в детском и юношеском возрасте увеличивается до возраста 28-30 лет, а затем начинается процесс старения позвоночника и других костных структур и наблюдается постепенное снижение плотности на протяжении всей жизни, это снижение у женщин в период пери- и постменопаузы ускоряется на фоне дефицита эстрогенов.

Следует сразу отметить, что нормативы минеральной плотности костной ткани (МПКТ) разные для мужчин и женщин. Исходная МПКТ мужчин на 20-25% выше, чем у женщин и для мужчин остеопороз, как правило, является проблемой старческого возраста. В странах, где продолжительность жизни у мужчин

существенно ниже, чем у женщин, основная масса мужского населения просто не доживает до появления этих проблем.

Высокая распространенность "женского" постменопаузального остеопороза (ПО), частота и тяжесть его осложнений, стоимость лечения остеопоротических переломов явно недооценены. В возрасте старше 50 лет, по данным литературы, ПО выявляют у 30-40% женщин. Последствия его – атравматические или малотравматичные переломы позвонков появляются, как правило, после 60 лет, переломы шейки бедра еще в более позднем возрасте. Между началом развития ПО и его осложнениями проходит несколько лет, дающих возможность его диагностики и лечения. По данным литературы, вовремя проведенное лечение снижает частоту переломов на 50-60%. Переломы лечат травматологи, а возможность своевременно диагностировать ПО, который из-за бессимптомности течения нередко называют "безмолвной эпидемией", и применить общепризнанный метод его лечения – ЗГТ, могут только гинекологи. Препарат выбирается индивидуально, врач должен учитывать все особенности течения пери- и постменопаузального периодов каждой пациентки, а также все имеющиеся данные, как клинико-анамнестические, так и лабораторные.

При использовании ЗГТ была надежда, что скорость снижения плотности костной ткани замедлится, однако эффект лечения превзошел ожидания и у части больных на фоне ЗГТ был отмечен рост плотности костной ткани. В результате ЗГТ стали рассматривать как метод лечения не только климактерического синдрома, но и остеопороза.

Костная система человека состоит из трабекулярной (губчатой) костной ткани - около 20%, и из кортикальной (компактной) - 80%. Доля трабекулярной ткани в поясничных позвонках L1-L4 существенно выше и оценивается разными авторами от 50 до 66%, в шейке бедра от 25 до 40% [10]. ПО связывают, в большей степени, со снижением минеральной плотности трабекулярной костной ткани на фоне возникшего дефицита эстрогенов в постменопаузе.

Ранее, до создания специальных приборов исследования, наличие определялись с использованием рентгенографии, рис. 7.

Наличие остеопороза оценивалась без использования количественных характеристик, врач отмечал лишь наблюдаются ли признаки остеопороза, а также степень его выраженности (умеренный, выраженный) и, как правило, касались уже далеко зашедшего процесса разжижения костной ткани.



Рис. 7. Рентгенологическая картина остеопороза позвонков при традиционной рентгенографии

В нашем исследовании важным методом изучения МПКТ поясничных позвонков, шейки бедра и зоны треугольника Варда было использование рентгеновский денситометрии ДРА - двуэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. При этом исследуется проекционная суммарная плотность костной ткани – трабекулярной и кортикальной. Использовался денситометр фирмы «Hologic». Протокол исследования приведен на рис. 8.

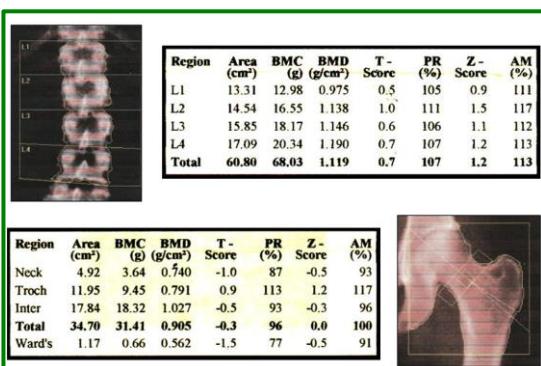


Рис. 8. Протокол исследования МПКТ методом ДРА

МПКТ имеет близкое к нормальному распределение, что довольно редко встречается у медицинских параметров. Изучались значения Т- и Z-критерия среднего значения МПКТ поясничных позвонков L1-L4, а также шейки бедра в количестве стандартных отклонений.

Оценивалась степень отклонения от пиковой плотности костной ткани, то есть от МПКТ здоровой 30-летней женщины – Т-критерий. При значении Т-критерия менее (-2,5) диагностируется остеопороз и высокий риск перелома. При значении Т-критерия менее (-1), но более (-2,5) диагностируется остеопения, МПКТ считается сниженной, но риск перелома невелик, при значениях Т-критерий >-1 считается, что МПКТ не снижена.

Степень отклонения от возрастной нормы оценивается значением Z-критерия, остеопения диагностируется в диапазоне (-1, -2), остеопороз при значениях (-2) и менее.

При очень пожилом возрасте среднее популяционное значение может оказаться в зоне высокого риска перелома, то есть для лечебных целей важнее определение Т-критерия.

Значительная часть наших пациенток обследовалась с использованием количественной компьютерной томографии (ККТ), при которой определялась "истинная плотность" трабекулярной костной ткани поясничных позвонков, и также использовались оценки Т- и Z-критерия, рис. 9.

Казалось бы, что вот он - идеальный способ определения плотности МПКТ для исследования развития ПО, тем более что возможно использование компьютерного томографа и при исследовании других зон костной системы человека при закупке дополнительное программного обеспечения и специальных калибровочных фантомов. Но не все так просто, если учитывать такие немаловажные факторы, как стоимость исследования и уровень лучевой нагрузки, получаемый пациенткой при исследовании.

Даже обычное рентгеновское исследование отнюдь не является дешевым. И если стоимость исследования методом ДРА в одной локализации (например, поясничных позвонков) незначительно превосходит стоимость рентгенографии в этой зоне, то исследование ККТ существенно дороже.

Если сравнивать исследования поясничного отдела позвоночника разными методами и взять за точку отсчета лучевую нагрузку при обычной рентгенографии (450-550 mSv), то при ККТ эта нагрузка будет 100 mSv, то есть 18-22%, а при ДРА - 1-3 mSv, то есть менее 1% от рентгенографической. Исследование ККТ не рекомендуется проводить чаще, чем раз в 6 месяцев, при исследовании ДРА фактически нет ограничений, связанных с лучевой нагрузкой.

Мы проводили сравнительный анализ результатов исследований денситометрий ДРА и ККТ поясничных позвонков L2-L4. Они достаточно хорошо согласованы, хотя ДРА дает несколько более оптимистическую картину, что не удивительно, так как кортикальная костная ткань более инертна и медленнее реагирует на эстроген-дефицитное состояние, что также подтверждается при сравнении частоты остеопороза и остеопении в зонах поясничных позвонков и шейки бедра, см [1]. Остеопороз шейки бедра у наших относительно молодых пациенток (большинство моложе 60 лет), был, довольно часто, связан либо с длительным

дефицитом эстрогенов, например, у женщин с ХМ, оперированных в молодом возрасте, либо выявлялся у женщин с "субтильным" телосложением. Между наличием остеопороза в поясничных позвонках и массо-ростовыми показателями пациенток не выявлено связи.



Рис. 9. Исследование МП трабекулярной КТ методом ККТ

На основании наших исследований можно сказать, что денситометрии ДРА и ККТ не идеальны, но достаточны для использования в клинической практике при ведении пациенток в постменопаузе. При этом основным можно считать метод ДРА, с его малой лучевой нагрузкой, возможностью одновременного исследования нескольких зон костной системы и с относительно доступной стоимостью исследования. При появлении какой-либо нестандартной ситуации, например, при существенном отличии параметров МПКТ одного или двух из позвонков от других, следует провести денситометрию ККТ. Обычно такие отклонения вызывают подозрения на наличие компрессионных переломов, но бывают и другие причины. На рис. 9 показан выявленный кальцинат внутри позвонка, из-за которого МПКТ этого позвонка при ДРА существенно отличалась от МПКТ соседних позвонков. Возможно, что при некоторых заболеваниях позвоночника, чтобы получить объективную картину состояния МПКТ, следует также направить пациентку на ККТ. Кроме того, бывают пациентки, которые могут позволить себе и хотят получить максимально полное, пусть и дорогое, медицинское обследование.

Наш опыт изучения плотности кортикальной костной ткани с использованием ультразвукового денситометра лишь подтвердил то, что такие исследования при ПО не информативны и, видимо, представляют интерес

лишь для изучения старческого (сенильного) остеопороза, при котором уже наблюдается существенное снижение плотности кортикальной костной ткани. Хотя эти исследования и проводились нами, мы не стали включать их в карту.

3. Заключение

Предложенная информационная карта наблюдения пациенток в постменопаузе, как естественной, так и хирургической, разработана и протестирована авторами при проведении научных исследований на протяжении 20 лет и может быть применена при дальнейших исследованиях в изучении здоровья женщин. Карта является результатом структурной организации данных для анализа характера осложнений постменопаузального, в том числе климактерического периода, оптимизации коррекции этих осложнений с целью сохранения здоровья и повышения качества жизни пациенток. Максимальное сохранение здоровья и социальной активности практически трети женского населения актуальна во всём мире.

Публикуемая карта включает в себя параметры, важность которых подтверждена длительными научными исследованиями авторов, полученных с использованием сочетания как методов статистического анализа данных, так и технологий искусственного интеллекта и инженерии знаний, разработанных группой академика И.М.Гельфанды.

Использование технологий ИИ в такой сложной области деятельности, как медицина (см. [11]), где необычайно высок уровень ответственности за принимаемые решения и чрезвычайно высока цена ошибки, очень хорошо иллюстрируют то обстоятельство, что эта ответственность остается грузом на плечах человека - лечащего врача. Даже самая замечательная система ИИ в медицине - лишь дополнительный метод исследования, а отвечает за успех или неудачу при лечении больного только врач.

Публикация выполнена в рамках государственного задания НИЦ "Курчатовский институт" - НИИСИ: Проведение фундаментальных научных исследований по теме FNEF-2024-0001 "Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах".

Information Card of Postmenopausal Women with Natural and Surgical Postmenopause

S. Yu. Lukashenko, T. I. Roubtchenko

Abstract: An information card is provided for monitoring patients with natural and surgical postmenopause. The card is the result of a structured organization of data for analyzing the climacteric period and the possibilities of hormone replacement therapy (HRT) in the postmenopausal period. The use of such card for the purpose of designing a computer data bank system is discussed.

Key words: medical informatics, artificial intelligence, structural organization of data, data analysis, menopause, postmenopause, hormone replacement therapy, bone mineral density, osteoporosis, osteopenia, densitometry.

Литература

1. Лукашенко С.Ю., Рубченко Т.И. Заместительная гормональная терапия и здоровье женщин в постменопаузе. "Труды НИИСИ РАН", 2022, том 12, № 1-2, стр. 38-46.
2. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Очерки о совместной работе математиков и врачей. 3-е издание. Москва, Едиториал УРСС, 2004, 309 с.
3. Земскова Н.Ю., Лукашенко С.Ю. Мониторинг течения беременности у женщин с рубцом на матке после кесарева сечения в анамнезе. "Труды НИИСИ РАН", 2022, том 13, № 3, стр. 55-74.
4. Алексеевский А.В., Гришин В.Л., Клименко П.А., Котов Ю.Б., Лукашенко С.Ю., Сахнина Э.И., Сичинава Л.Г., Федорова М.В. Структура клинических данных в проблеме диагностики и лечения плацентарной недостаточности. Препринт Академии Наук СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", Москва, 1988, 42 с.
5. Извекова М.Л., Гринберг А.А., Бабкова И.В., Лукашенко С.Ю. Опыт организации медицинского архива на ЭВМ (На примере банка данных о больных, оперированных по поводу язвенной болезни), Препринт Академии Наук СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", Москва, 1987, 42 с.
6. Алексеев В.М., Алексеевская М.А., Гельфанд И.М., Гогин Е.Е., Головня Л.Д., Заславская Р.М., Извекова М.Л., Клюшин Е.С., Мартынов И.В., Саблин В.М., Сыркин А.Л. Многоцелевая карта больного инфарктом миокарда (для создания банка данных на ЭВМ) Препринт Академии Наук СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", Москва, 1981, 32 с.
7. Земскова Н.Ю., Лукашенко С.Ю. Информационная карта течения беременности у женщин с рубцом на матке после кесарева сечения в анамнезе "Труды НИИСИ РАН", 2024, том 14, № 2, стр. 44-52
8. Рубченко Т.И., Лукашенко С.Ю. Функция яичников после гистерэктомии. «Проблемы репродукции». 2002, Том 8, № 1, 6-11.
9. Рубченко Т.И., Лукашенко С.Ю., Допплерографические показатели кровотока во внутренней сонной артерии у женщин в постменопаузе и влияние на эти показатели заместительной гормональной терапии. «Проблемы репродукции». 2006, Том 12, № 4, 98-103.
10. Волков А.А., Белосельский Н.Н., Прибыtkov Ю.Н. Абсорбциometрическая оценка некоторых количественных и качественных характеристик костной ткани при снижении минеральной плотности кости. «Остеопороз и остеопатии». 2015, том 18, № 2, 3-5.
11. Бетелин В.Б., Научные проблемы обеспечения технологического суверенитета в области технологий искусственного интеллекта. «Вестник РАН». 2024, том 94, № 7, 629-634.

Сведения об авторах: Лукашенко Светлана Юрьевна, инженер **ОПМИ НИИСИ**, кандидат физ.-мат. наук, телефон: +7 (916)578-06-46, s_lukashenko@mail.ru.

Рубченко Татьяна Ивановна, доктор мед. наук, tatiana-maxim@mail.ru, +7 (495)680-26-06.

Новая архитектура образовательных платформ в эпоху цифровой трансформации: парадигмы NoLMS и Smart LMS

А. Г. Леонов¹, К. А. Машенко², Е. Ю. Тарасова³

¹НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, МПГУ, Москва, Россия, Государственный университет управления, Москва, Россия, dr.l@vip.niisi.ru;

²НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, Москва, Россия, МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия, kirill.mashchenko@niisi.ru;

³Президентская академия, Москва, Россия, tarasova-ey@ranepa.ru;

Аннотация. В статье анализируется эволюция цифровых образовательных платформ в контексте трансформации образования. Предлагается новая классификация, выделяющая три типа систем: традиционные LMS, отказывающиеся от парадигмы управления NoLMS и интеллектуальные виртуальные Smart LMS. Демонстрируется возможность конвергенции этих подходов в единой образовательной экосистеме. Ключевым результатом является концепция виртуальной платформенной инфраструктуры, сочетающей управленческий функционал с гибкостью педагогических решений.

Ключевые слова: цифровая трансформация образования, образовательные платформы, LMS, NoLMS, Smart LMS, искусственный интеллект в образовании

1. Введение

Образование, включая высшую школу, получило инновационные цифровые инструменты, способствующие проведению знаковых реформ, коренным образом меняющих подходы к учебному процессу, состав участников образовательных отношений и их роли. К основным изменениям, которые дали возможность начать цифровую трансформацию образовательного процесса, можно отнести эволюцию информационно-коммуникационных технологий, которая прошла три ключевых этапа:

- рост вычислительной мощности персональных компьютеров;
- распространение мобильных устройств с доступом к Интернету;
- привлечение искусственного интеллекта в решение широкого круга повседневных задач.

Эффективность применения достижений научно-технического прогресса для университетского и среднего (специального) образования потенциально выше, чем для образования основного общего, и тем более, для образования начального и дошкольного. Дошкольная ступень образования крайне ограничена в использовании электронных средств обучения санитарными требованиями. Напротив, современный слушатель курсов вуза и средней школы уже имеет сформированные компетенции в части повседневного

использования вычислительной техники и владеет основными навыками информационного поиска, что позволяет активно включать в образовательную программу использование вычислительных средств и цифровые педагогические программные продукты по широкому кругу дисциплин, не ограничиваясь только областью STEM предметов. Внедрение в университетах интеграционных высокоеффективных цифровых образовательных платформ, объединяющих учебный процесс в единую непрерывную цифровую информационную среду, может и должно стать основой успеха цифровой трансформацией образования [1].

2. Материалы и методы

В условиях отсутствия единого методологического подхода к цифровизации современного образования, ее методам и инструментам, достаточно размытое понятие «цифровая платформа» характеризуется неоднородным компонентным составом при сохранении базовых требований к функциональности, направленной на автоматизацию образовательного процесса в учебных учреждениях различного уровня образования. Обычно реализация подобных интегрированных систем включает групповую коммуникацию, ролевое разграничение участников образовательного процесса, автоматизированный документооборот с

формированием единой базы образовательной активности и т.п. Поэтому часто исследование и разработка цифровых образовательных платформ сводится к LMS (*англ.* - Learning Management System) – системам управления обучением, онлайн-платформам для создания, распространения и трансляции традиционных обучающих материалов, организации прохождения курсов и контроля усвоения знаний и посещаемости обучающихся [2]. При этом концептуальная ограниченность LMS, порожденная ее основными задачами преимущественной ориентации на автоматизацию контроля обучения с акцентом на масштабируемость и возможностью дистанционных форм обучения с ограниченной верификацией результатов (включая оценивание без непосредственного участия преподавателя), приводит к тому, что в первую очередь автоматизируются скорее рутинные управленические функции университета, чем более важные новые методы подачи материала и организации новых активностей студента в часы аудиторных и самостоятельных занятий. Типичная LMS представляет участникам образовательного процесса автоматизированную систему учёта и обработки образовательных результатов, формирование и хранение отчётной документации, ведение электронных журналов успеваемости, протоколирование учебных достижений, генерацию статистических данных и аналитических отчётов и т.п. Облачные и практико-ориентированные цифровые образовательные инструменты с большим трудом интегрируются в широко распространенные LMS [3].

В процессе цифровой трансформации образования преподаватели осваивают компетенции работы с инновационными информационно-коммуникационными технологиями, методы гибридного преподавания и инструменты предиктивной аналитики успеваемости, а обучающиеся развиваются навыки работы с информацией, самоорганизации, гибкого взаимодействия и решения нестандартных задач. Эти изменения не ограничиваются лишь изменением формы обучения – они затрагивают весь образовательный процесс, трансформируя подходы ко всем компонентам образовательного процесса: организация учебного взаимодействия, оценка результатов и управление учебным процессом. В связи с этим возникает объективная необходимость модернизации инфраструктуры высших учебных заведений, которая должна соответствовать новым требованиям и

обеспечивать эффективное функционирование современной образовательной экосистемы [4].

Йохан Виссема в работе «Университет третьего поколения» [5] подчёркивает необходимость превращения университетов в гибкие цифровые инфраструктуры «платформ возможностей».

В наши дни происходит фундаментальная трансформация образовательной парадигмы: преподаватели перестают быть просто передатчиками знаний и превращаются в модераторов учебного процесса – наставников, сопровождающих индивидуальное развитие обучающихся. Студенты, в свою очередь, активно развиваются навыки самостоятельного обучения в цифровой среде, что существенно меняет требования к образовательной инфраструктуре.

Цифровая образовательная среда теперь должна выступать не только как инструмент администрирования, но и как полноценное пространство (среду) для педагогического творчества и эффективного взаимодействия между участниками образовательных отношений. В этих условиях особую актуальность приобретают компетенции работы с искусственным интеллектом и современными информационно-коммуникационными технологиями, которые становятся неотъемлемой частью образовательного процесса.

Сохраняя традиции классического образования, цифровая трансформация должна решать следующие ключевые задачи:

- повышение качества и доступности образования на основе внедрения адаптивных и интерактивных цифровых педагогических технологий;
- создание условий для раскрытия творческого и интеллектуального потенциала обучающихся через использование цифровых инструментов для проектной и исследовательской деятельности;
- обеспечение полного и оперативного удовлетворения информационных потребностей за счет формирования персонализированной образовательной среды и доступа к распределенным информационным ресурсам;
- формирование принципиально новой информационной культуры, включающей алгоритмическое (компьютерное), критическое и системное мышление, готовность к непрерывному обучению.

Решение поставленных задач в рамках цифровой трансформации затрагивает все аспекты образовательной деятельности и

требует соответствующего развития (в направлении цифровизации) инфраструктуры вузов для обеспечения качественного образовательного процесса в новых условиях. Основа такого развития – вузовская цифровая платформа нового поколения, отвечающая следующим ключевым критериям:

- гиперперсонализация – возможность адаптации под индивидуальные когнитивные потребности, темпы усвоения и будущую профессиональную направленность каждого обучающегося;
- интерактивность – создание условий для поливидового взаимодействия (студент-преподаватель, студент-контент, студент-студент, студент-группа, преподаватель-группа, студент-администрация вуза и т.п.);
- отчетность – встроенные инструменты для отслеживания прогресса и прогнозирования образовательных результатов;
- гибкость – поддержка различных форматов обучения (синхронного, асинхронного, смешанного).

3. Результаты

Внедрение цифровых образовательных технологий сопряжено с рядом системных вызовов. Во-первых, это высокий уровень трудозатрат на организацию процессов дидактического проектирования и цифровой конвертации учебного материала, которая, разумеется, не сводится к прямой оцифровке конспектов и дополнительных материалов классических лекций. Эти трудозатраты, высокие не только в финансовом, но и во временном измерении, являются необходимыми вложениями в создание новых цифровых курсов и перевод традиционного учебного содержания в цифровые форматы. Во-вторых, наблюдается технологическая ограниченность инструментов автоматизированного оценивания, не позволяющая в полной мере проверять сложные, творческие работы, выходящие за рамки стандартизованных тестов и задач, имеющих известные алгоритмы проверки. В-третьих, существует необходимость обеспечения принципов экосистемной интеграции и универсального дизайна обучения, что требует от цифровой инфраструктуры университета кроссплатформенной совместимости и гарантии равного доступа к контенту на любых пользовательских устройствах. Наконец,

ключевой проблемой является возрастание когнитивной нагрузки на преподавательский состав, связанной с необходимостью непрерывного мониторинга и анализа больших массивов данных о текущей академической успеваемости и индивидуальной траектории каждого обучающегося.

Данное обстоятельство требует изменения поведения педагогов и ставит перед педагогическим сообществом и обществом в целом социально-этический вопрос: должен ли член общества, решивший стать педагогом, быть готов к обеспечению цифровой доступности для студентов в режиме 24/7. Подобная потребность в повышении доступности педагога за пределами КЗОТовских рабочих часов может вызвать обоснованное сопротивление у организаторов и участников системы национального образования и породить у преподавателей вопросы, связанные с техническими ограничениями и этическими дилеммами [6].

Для того, чтобы подтолкнуть преподавателей к использованию новых образовательных форм преподавания, таких, например, как фиджитал-формат¹, необходимо максимально автоматизировать рутинные процессы, чтобы высвободить время педагога, на что, как правило, не нацелены обычные LMS.

Попытка максимально автоматизировать как рутинные, так и творческие процессы, протекающие в системе высшего образования а только цифровые образовательные платформы, в настоящее время реализуется в ходе разработки образовательной платформы Мирера в НИЦ «Курчастовский институт» - НИИСИ [7].

В платформе Мирера цифровая трансформация курсов не сводится к простой автоматизации традиционных процессов. Цели разработки этой образовательной платформы (первые курсы с использованием этой системы были проведены на механико-математическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова) в реализации ключевой дидактической концепции о поэтапном усложнении учебной среды, при котором на каждом этапе модифицируется лишь один параметр: используемая нотация, технологический инструментарий и(или) объем теоретических знаний.

Этот подход хорошо себя показал при обучении программированию, например, при изучении алгоритмов когнитивная нагрузка

¹¹ Фиджитал-формат (от англ. phygital — слияние physical «физический» и digital «цифровой») — это гибридная модель, создающая единое, непрерывное взаимодействие между физической и цифровой реальностями. В образовании это формы обучения, где аудиторные и онлайн-активности тесно переплетены, чем усиливают друг друга.

студента должна целиком состоять в изобретении в чистом виде алгоритмов решения учебных задач, а не рассеиваться на сопутствующие аспекты, такие как освоение синтаксиса языка программирования, управление конфигурацией среды исполнения, выбор инструментария и т.п.

Таким образом, первостепенной задачей цифровой образовательной платформы Мирера стало проектирование дидактической среды, которая минимизирует необходимость привлечения непредметных знаний для выполнения учебных заданий. В рамках данной модели технологии программирования осваиваются не параллельно с фундаментальными концепциями предмета, а последовательно – как надстройка над ранее сформированным понятийным аппаратом и структурами. Платформа Мирера строго говоря не является очередной LMS [8], так как направлена в первую очередь на помочь педагогу в создании цифрового курса, наполнение его материалом и помочь студенту в учебе в рамках новой парадигмы цифрового образовательного процесса. Здесь технологии выступают катализатором развития гибридной образовательной модели, где живое преподавание сохраняет свою центральную роль, а цифровые средства позволяют перейти к непрерывной и персонализированной учебной деятельности, основанной на педагогическом сотрудничестве [9].

Другое направление развития LMS в сторону образовательного процесса демонстрирует практика работы российского университете «Президентская Академия», когда внутри действующей LMS были созданы нейроагенты, с которыми студент взаимодействует в диалоговом режиме. При этом, с использованием элементов искусственного интеллекта, удается проверять выполненные слушателями задания, учитывая аргументацию, логику и критическое мышление слушателя, что создает условия для формирования критического мышления и креативности.

4. Обсуждение

Современный университет стоит перед необходимостью оперативного перехода на «цифровые рельсы» в образовательном процессе, научной работе, управлении. Подход «одна цифровая платформа для всех» вызывает много справедливой критики и требует наличия в университете высококвалифицированных специалистов, способных разрабатывать и поддерживать такие системы. При

использовании элементов ИИ при подготовке материалов и тестированию уровней компетенции обучающихся требуется оперативное обновление курсов, форматов заданий и пр. Каждая новая функция в традиционных универсальных LMS требует сложной программной доработки. Поэтому в конкретных педагогических ситуациях монолитные, универсальные LMS во многом проигрывают по интерфейсу простым, легко осваиваемым специализированным программным средам, делая попытки оставаться в рамках традиционных LMS для решения любых педагогических задач неконкурентоспособными. Последнее вынуждает преподавателя и студента выносить педагогическое взаимодействие за пределы экосистемы вуза, что создает дополнительную сложность для слушателей.

Современный ландшафт образовательных технологий характеризуется большим количеством методологических ошибок, в которых любые цифровые платформы некорректно «втискиваются» в категорию LMS. Для преодоления этой терминологической неточности и выявления сущностных различий представляется разумной аналогия с эволюцией систем управления данными, прошедшей путь от классических SQL через NewSQL к NoSQL [10]. По аналогичному основанию (отношению к парадигме централизованного управления) предлагается следующая градация:

- LMS (Learning Management System) – системы, реализующие классическую модель централизованного администрирования и контроля учебного процесса;
- NoLMS – платформы, сознательно отказавшиеся от управленческой и фискальной догматики в пользу сервисной поддержки преподавателя и фиксации цифрового следа.

Термин NoLMS, который описывает группу платформ, аналогичных Мирера, вводимый по аналогии с NoSQL, обозначает класс решений, которые функционируют не как непосредственные системы управления, а в роли интеллектуальных ассистентов, расширяющих профессиональные возможности педагога и помогая студенту активно участвовать в образовательном процессе.

Другим подходом можно было назвать создание концепции Smart LMS, которая представляет собой эволюционный синтез традиционной архитектуры систем управления обучением (LMS) с технологиями искусственного интеллекта и учебной аналитики, что позволяет перейти от стандартизированного курса к персонализированной образовательной среде.

По аналогии с NewSQL, которая сохраняет совместимость с реляционной моделью, добавляя ей масштабируемость, Smart LMS наследует базовую структуру классических LMS, но добавляет к ней адаптивные рекомендации на основе ИИ, чат-боты и предиктивную аналитику, превращая платформу из инструмента администрирования в активного помощника преподавателю и студенту.

Smart LMS должна стать объединяющей инфраструктурой, где учебная активность управляет и анализируется в едином цифровом контуре и нацелена на экономию времени преподавателя и студента, и при этом способна адаптироваться и развиваться за счёт встроенного ИИ.

Принципы такой системы:

- простота и адаптивность интерфейса;
- возможность интеграции с ИИ-моделями и нейроагентами;
- поддержка новых форматов заданий, включая работу с ИИ;
- анализ соответствия программ, дисциплин и реального преподавания;
- персонализированные рекомендации для студента и преподавателя.

Важно подчеркнуть, что Smart LMS не может стать очередной единой для всех вузов платформой, так как ее развитие станет столь же сложным и неподъемным как адаптация классических LMS. Требования наличия возможности создания или адаптации для каждого вуза, института или преподавателя своего цифрового контура (подключать нужные функции, настраивать сценарии и создавать индивидуальные модули) подсказывает направление конвергенции LMS и NoLMS, когда объединяющий контур, SmartLMS создается как виртуальное объединяющее образовательное пространство, описывающее правиластыковки, но не программную систему.

Тем более, что NoLMS, подобные Мирера, полностью покрывают «интеллектуальные» возможности, задуманные в SmartLMS, в частности, активно используют ИИ не только для автоматизации тестов, но и для создания новых форматов заданий, вплоть до сдачи заданий в активном диалоге с нейроагентом – цифровым собеседником, созданным преподавателем под конкретную тему. Данный тип заданий представляет собой не просто цифровую презентацию учебной активности, а педагогический инструмент, направленный на интериоризацию – процесс преобразования

внешних учебных действий во внутренние, осознанные когнитивные структуры и личностные компетенции студента. Универсальность метода позволяет интегрировать его в образовательные программы как гуманитарного, так и технического профиля. Ключевая дидактическая цель при этом заключается в формировании устойчивой интеллектуальной привычки к рефлексивному обоснованию собственной позиции и развитии системных навыков продуктивной академической дискуссии.

5. Заключение

Цифровая трансформация образования представляет собой системный процесс, выходящий за рамки простой автоматизации традиционных процедур. Как показывает исследование, современные образовательные платформы эволюционируют от классических LMS к новым моделям, таким как NoLMS и Smart LMS, которые ориентированы не на административный контроль, а на педагогическое взаимодействие и интеллектуальную поддержку участников образовательного процесса.

Ключевым результатом исследования становится концепция конвергенции платформенных решений, где Smart LMS выступает не как единая жесткая система, а как виртуальная инфраструктура, сочетающая управлеченческий функционал с гибкостью NoLMS-подходов. Это позволяет создавать персонализированные образовательные среды, поддерживающие новые педагогические форматы, включая диалоговое взаимодействие с ИИ-агентами и формирование критического мышления.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку методологии оценки эффективности гибридных образовательных сред и изучение долгосрочного воздействия цифровой трансформации на качество подготовки специалистов.

Настоящая работа выполнена совместно тремя авторами: Леонов А. Г. и Мащенко К. А. вели работу в рамках темы государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001, этап 2025 года (1023032100070-3-1.2.1), Тарасова Е. Ю. вела работу в рамках плана работ Президентской академии на 2025 год.

NoLMS and Smart LMS: New Architecture of Educational Platforms in the Era of Digital Transformation

A. G. Leonov, K. A. Mashchenko, E. Y. Tarasova

Abstract. The article analyzes the evolution of digital educational platforms in the context of education transformation. A new classification is proposed, distinguishing three system types: traditional LMS, management paradigm-rejecting NoLMS, and intelligent virtual Smart LMS. The possibility of converging these approaches within a unified educational ecosystem is demonstrated. The key result is the concept of a virtual platform infrastructure that combines management functionality with the flexibility of pedagogical solutions.

Keywords: digital transformation of education, educational platforms, LMS, NoLMS, Smart LMS, artificial intelligence in education

Литература

1. Цифровая платформа образования / О. Ю. Бахтеев, Ф. М. Гафаров, В. В. Гриншун [и др.] // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. — 2022. — № 1 (113). — С. 87–103.
2. Смолянинова, О. Г. Обзор практик обеспечения электронной поддержки образовательного процесса средствами LMS Moodle: опыт российских вузов / О. Г. Смолянинова, Н. А. Иванов // АНИ: педагогика и психология. — 2019. — № 2 (27).
3. Персиянцева, С. В. Сравнительный анализ образовательных потребностей студентов в условиях цифровой среды / С. В. Персиянцева // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (ДНТЕ 2024): сборник статей V Международной научно-практической конференции, 14–15 ноября 2024 г. / под ред. В. В. Рубцова, М. Г. Сороковой, Н. П. Радчиковой. — Москва: Издательство ФГБОУ ВО МГППУ, 2024. — С. 422–431.
4. Клинов, А. А. О цифровой экосистеме современного университета / А. А. Клинов, Е. Ю. Заречкин, В. П. Куприяновский // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2019. — Т. 15, № 4. — С. 815–824. — DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.815-824.
5. Wissema, J. G. Introduction / J. G. Wissema // Towards the Third Generation University. — Cheltenham, UK : Edward Elgar Publishing, 2009. — DOI: 10.4337/9781848446182.00007.
6. Колоскова, Г. А. Цифровая образовательная среда вуза как условие формирования профессиональных компетенций студентов / Г. А. Колоскова // Вопросы методики преподавания в вузе. — 2021. — Т. 10, № 37. — С. 99–106. — DOI: 10.18720/HUM/ISSN 2227-8591.37.08.
7. Дьяченко, М. С. Архитектура учебной системы с индивидуализацией обучения на основе накопленных данных результатов автоматизированной проверки заданий / М. С. Дьяченко, А. Г. Леонов // Успехи кибернетики. — 2023. — Т. 4, № 1. — С. 39–48. — DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-06.
8. Дьяченко, М. С. Почему цифровая образовательная платформа Мирера не очередная LMS / М. С. Дьяченко, А. Г. Леонов, К. А. Мащенко // Фундаментальные проблемы обучения математике, информатике и информатизации образования: сборник тезисов докладов X международной научной конференции, Елец, 20–22 сентября 2024 года. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. – С. 188–192. – EDN BKVBCL.
9. Дьяченко, М. С. Решение задачи автоматизации учебного процесса с помощью экспериментального поиска индивидуальной образовательной траектории / М. С. Дьяченко, А. Г. Леонов // Информатика и образование. – 2024. – Т. 39, № 4. – С. 14–26. – DOI: DOI:10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26.
10. A Systematic Literature Review on Performance Evaluation of SQL and NoSQL Database Architectures / Muqaddas Salahuddin, Samra Majeed, Sammia Hira, Gohar Mumtaz // Journal of Computing & Biomedical Informatics. – 2024. – Vol. 7, No. 02. – URL: <https://jcbi.org/index.php/Main/article/view/548> (дата обращения: 21.10.2025).

Наименование: сетевой рецензируемый научный журнал «Труды НИИСИ»

ISSN: 3033-6422

Сведения о переименовании: до 2025 года журнал издавался в печатном виде с названием «Труды НИИСИ РАН», ISSN 2225-7349

Журнал основан: 2011 г.

Периодичность: 4 раза в год

Учредитель и издатель: НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ

Главный редактор: Бетелин Владимир Борисович, д. ф.-м. н., профессор, академик РАН

Адрес учредителя и издателя: 117218, Москва, Нахимовский проспект, д.36, к.1

Адрес редакции: 117218, Москва, Нахимовский проспект, д.36, к.1

Контакты: Тел.: +7 (925) 924-83-46; muranov@niisi.msk.ru

Подписка: Электронная версия журнала находится в свободном доступе на сайте журнала, а также в базах данных открытого доступа

Title: SRISA Proceedings online peer-reviewed journal

ISSN: 3033-6422

Former title: until 2025, the journal was published in print under the name *Trudy NIISI RAN* (Proceedings of SRISA, Russian Academy of Sciences), ISSN 2225-7349

Published since: 2011

Publication frequency: Quarterly

Founder and publisher: NRC "Kurchatov Institute" - SRISA

Chief Editor: Vladimir B. Betelin, Doctor of Science (Phys&Math), Prof., member of the Russian Academy of Sciences,

Address of the founder and publisher: 117218, Moscow, Nakhimovsky avenue, 36, bldg. 1

Address of the editorial office: 117218, Moscow, Nakhimovsky avenue, 36, bldg. 1

Contacts: Tel.: +7 (925) 924-83-46; muranov@niisi.msk.ru

Subscription: The electronic version of the journal is freely available on the journal's website, as well as in open access databases

Подписано в печать 24.10.2025 г.

Формат 60x90/8

Печать цифровая. Условных печатных листов – 7,5