

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ К ОЛИМПИАДАМ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

ARCHITECTURE OF AN OLYMPIAD PREPARATION SYSTEM BASED ON BIG DATA

M. Nuyakshin

Summary. This article presents the architecture of an adaptive system for preparing students for mathematics Olympiads, which personalizes the educational process based on big data analysis and cognitive modeling methods. Using accumulated learning data for each student, the system dynamically adapts educational content by applying machine learning methods (clustering and classification) to segment students and select optimal learning trajectories. The integration of AI for solution verification, including NLP algorithms and the cognitive architecture ACT-R, enables personalized feedback. The article also explores the possibility of integrating this system with external educational platforms.

Keywords: adaptive learning, cognitive models, ACT-R, machine learning, personalized learning process, data analysis in education, feedback, class diagram.

Нуйакшин Михаил Геннадьевич

*Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный Университет «Дубна»
mihail.nuyakshin@mail.ru*

Аннотация. В статье представлена архитектура адаптивной системы для подготовки к математическим олимпиадам, которая персонализирует образовательный процесс на основе методов анализа больших данных и когнитивного моделирования. Используя накопленные данные о результатах обучения каждого обучающегося система гибко адаптирует учебный контент, применяя методы машинного обучения (кластеризация и классификация) для сегментации учащихся и выбора оптимальной траектории обучения. Интеграция ИИ для проверки решений, включая алгоритмы NLP и когнитивную архитектуру ACT-R позволяет организовать персонализированную обратную связь. В статье рассматривается возможность интеграции с внешними образовательными платформами.

Ключевые слова: адаптивное обучение, когнитивные модели, ACT-R, машинное обучение, персонализация учебного процесса, анализ данных в обучении, обратная связь диаграмма классов.

Введение

Искусственный интеллект открыл новые горизонты в образовании. Благодаря алгоритмам машинного обучения и анализу данных инструменты на базе ИИ персонализируют образование и обеспечивают индивидуальное обучение, немедленную обратную связь и адаптивные оценки, оптимизируя процесс обучения для каждого ученика. Система подготовки учащихся к олимпиадам требует учета индивидуальных способностей и навыков каждого ученика, что возможно благодаря использованию технологий больших данных. Технологии ИИ и машинного обучения позволяют собирать и анализировать данные о результатах обучения, адаптируя образовательные платформы к потребностям учащихся.

В статье [1] сделан подробный обзор современных методов анализа данных для персонализации образовательного процесса. Рассмотрены подходы к адаптации обучения с помощью технологий больших данных, включая возможности рекомендаций, диагностику знаний, анализ прогресса обучения, а также когнитивные карты.

Результаты педагогических экспериментов по обучению математике показали явное преимущество группировки обучающихся по способностям по сравнению с традиционным обучением всего класса. Еще большее

преимущество продемонстрировала полностью персонализированная модель по сравнению с группировкой по способностям для успеваемости учащихся [2].

Одной из наиболее распространенных форм персонализации в цифровых учебных средах является адаптация учебных материалов в соответствии со «стилем обучения» учащегося [3,4].

Другие стратегии персонализации включают настройку учебного процесса с учётом интеллектуальных особенностей пользователя, его предпочтений в медиа-форматах (текст, аудио или видео форматы), уже имеющихся знаний или уровня мотивации. Как правило, адаптация основывается на первоначальной оценке этих характеристик, которая помогает распределить учащихся по нескольким группам, чтобы предложить наилучший подход к обучению для каждой категории [5,6].

Цель статьи: разработка архитектуры системы, использующей методы больших данных для персонализации подготовки к математическим олимпиадам школьников.

1. Индивидуальные характеристики обучающихся

Для создания адаптивного обучения используются различные характеристики обучаемых, которые помогают персонализировать образовательные стратегии.

Таблица 1.

Индивидуальные характеристики обучающихся

Название характеристики	Краткое описание	Эффективность для адаптации	Недостатки (сложность выявления)	Эффективность применения (1-5)
Когнитивные способности и стиль мышления	Уровень восприятия, скорость обработки информации, аналитическое или творческое мышление	Высокая, позволяет подбирать сложность и стиль материалов	Требует глубокого тестирования и анализа	5
Учебные предпочтения и стиль обучения	Предпочтение визуальных, аудиальных, кинестетических форматов обучения	Высокая, помогает выбрать формат подачи информации	Нужно учитывать предпочтения в нескольких категориях (видео, текст и т.д.)	5
Предыдущие знания и опыт	Имеющиеся знания и опыт в изучаемом предмете.	Высокая, обеспечивает адаптацию сложности материалов	Требует диагностических тестов для точного определения уровня знаний	5
Мотивация и уровень вовлечённости	Желание и стремление к обучению, уровень вовлечённости в процесс	Средняя, позволяет корректировать уровень нагрузки и методы подачи	Может быть трудно объективно измерить мотивацию и вовлечённость	4
Цели обучения	Конкретные цели обучения. Например, подготовка к экзаменам или общее развитие	Средняя, определяет направленность учебного процесса	Сложно оценить без четкой информации от самого учащегося	4
Эмоциональное состояние	Эмоциональное состояние, стрессы, готовность к обучению	Средняя, позволяет регулировать темп и мотивационные стратегии	Требует постоянного мониторинга состояния учащегося	3
Скорость обучения	Способность быстро или медленно усваивать новый материал	Высокая, адаптирует темп подачи информации	Трудно определить оптимальный темп без длительного наблюдения	5
Физические и сенсорные особенности	Наличие ограничений, таких как слабое зрение, слух или двигательные навыки	Высокая, требует специальных интерфейсов и адаптаций	Требует индивидуальных решений и ресурсов	4

Наиболее часто используемые характеристики показаны в таблице 1.

В последней колонке указаны экспертная оценка эффективности применения каждой характеристики, которая была составлена по оценкам мнений 5 экспертов (преподавателей). Наибольшая эффективность оценивалась в 5 баллов.

Анализ таблицы показал, что для проектирования архитектуры адаптивной системы подготовки к олимпиадам целесообразно выбрать наиболее эффективные характеристики обучающихся:

1. Когнитивные способности и стиль мышления, которые учитывают личные особенности в восприятии и обработке информации. Это даст возможность адаптировать сложность и форму учебных материалов для максимальной эффективности обучения [7,8].
2. Выявление учебных предпочтений и стиля обучения способствует повышению уровня вовлеченности учащегося и эффективности образова-

тельного процесса за счет улучшения восприятия учебных материалов [9,10].

3. Предыдущие знания и опыт обучающихся позволяют корректировать содержание обучения в соответствии с их уровнем подготовки, предлагать материалы соответствующей сложности для достижения высокой эффективности обучения.
4. Скорость обучения позволяет регулировать темп обучения и обеспечить продвижение обучающегося, избегая как чрезмерной нагрузки, так и ненужных задержек.

2. Анализ требований к функциональности системы

В результате анализа были определены основные требования к функционалу разрабатываемой системы. Важнейшими из них являются следующие: генерация задач, адаптация уровня сложности, проверка ответов и решений, предоставление обратной связи.

Система должна иметь возможность генерировать уникальные задачи, используя типовые шаблоны и учи-

тывая заданные параметры и ограничения. Далее, система должна обладать функцией адаптации уровня сложности задач в соответствии с успеваемостью ученика, его текущими знаниями и показателям развития. Также важно, чтобы система осуществляла проверку не только правильности ответов, представленных учениками, но и проверку соответствия хода решений учащихся в соответствии с заданными методиками. Наконец, система должна предоставлять обучающимся качественную обратную связь, включающую оценку и подробные комментарии по выполненным заданиям. Все это позволит ученикам адекватно осознать допущенные ошибки и работать над улучшением своих навыков.

Рассмотрим методы проверки решений, которые могут быть применены в системе подготовки школьников к олимпиадам.

1. Метод проверки с помощью искусственного интеллекта (ИИ), в котором система генерирует пошаговый план решения задачи и сопоставляет его с текстом, предоставленным учеником, используя методы ИИ. Для сравнения шага решения с шагами, представленными учеником, применяются алгоритмы обработки естественного языка, такие как BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). Этот подход позволяет системе учитывать вариативность формулировок и даже распознавать корректные, но альтернативные пути решения задачи [11,12]. Это позволяет учитывать возможные различия в формулировках, даже если ученик использовал иной, но верный подход. Это обеспечивает гибкость в интерпретации шагов решения и учитывает креативные подходы к выполнению задачи.
2. Проверка с использованием когнитивной архитектуры АСТ-R (Adaptive Control of Thought—Rational), которая моделирует процесс решения задачи на основе выбранной методики [13]. В отличие от других когнитивных моделей, АСТ-R может учитывать краткосрочную и долговременную память, а также когнитивную нагрузку, что позволяет системе подстраивать сложность задач и поддерживать учащегося на каждом этапе. Сопоставляя действия ученика с моделью, система прогнозирует, какие шаги ученик должен был пройти мысленно для достижения правильного ответа. После выполнения задач учеником система может выявить отклонения от правильного решения и предложить коррекцию или объяснение ошибки [14]. Этот метод позволяет оценить не только конечное решение, но и когнитивные процессы, лежащие в основе мышления обучающегося, что помогает анализировать его логические и аналитические навыки.
3. Метод пошаговой сверки на основе дерева решений (Decision Tree Matching), которое система

строит для каждого возможного способа решения задачи. По мере выполнения задачи действия ученика проверяются через это дерево для выявления отклонений от predetermined алгоритма. Пошаговая сверка с помощью дерева решений помогает системно проверять действия учащегося, выявляя точный момент и характер отклонения от методики. Метод деревьев решений может использоваться для предсказания и анализа учебных достижений студентов [15,16].

3. Архитектура системы подготовки к олимпиадам

На основании выявленных требований к функциональности предложена следующая архитектура системы:

1. Система должна быть разработана в виде распределенного монолита на основе Onion Architecture [17] с выделенными слоями бизнес-процессов, преобразования данных и представления данных. Это обеспечивает строгую сегментацию ответственности и хорошую модульность системы, облегчает последующее разделение на микросервисы при необходимости масштабирования и адаптации для коммерческого использования.

Предлагается выделить следующие сервисы:

- Сервис управления задачами для генерации и сохранения типовых задач, а также определения уровня сложности и граничных условий.
- Сервис проверки решений, предоставленных учащимися, на основе применения технологий искусственного интеллекта (ИИ), когнитивных моделей АСТ-R или деревьев решений.
- Сервис управления пользователями для хранения данных учащихся и преподавателей, управления доступом к системе и обеспечения безопасности.

В ходе исследования были выделены наиболее значимые агрегаты для систематизации и упорядочивания данных [18,19].

- *Агрегат учебных материалов*, включающий темы, разделы и подразделы, формирующие логическую и иерархическую структуру учебного контента, что обеспечивает его целостность.
- *Агрегат задач и методических материалов*, объединяющий типовые задачи, методики их решения, конкретные задания и граничные условия переменных, что упрощает процесс генерации и анализа задач благодаря их внутренней логической связи.
- *Агрегат пользователей*, охватывающий информацию о пользователях, учащихся и преподавателях, что способствует более эффективной системе идентификации и управления доступом, а также обеспечения сохранности персональных данных.
- *Агрегат результатов*, содержащий данные о выполнении задач и изучении подразделов, позво-

ляющий отслеживать прогресс учащихся и анализировать их успеваемость.

- *Агрегат аналитики*, включающий методы оценки успеваемости и проведения аналитического анализа. Он предоставляет инструменты для гибкой настройки и модификации алгоритмов оценки и адаптации образовательного процесса.
2. Машина управления состояниями (математическая модель вычислений, используемая для описания последовательности действий в системе) будет использоваться для мониторинга прогресса обучающихся и адаптации уровня сложности учебного материала к их индивидуальным потребностям. Каждый обучающийся имеет персональный учебный трек, который отображает текущую степень сложности, результаты выполненных заданий и общее количество достигнутых результатов. Такой подход позволяет осуществлять гибкую адаптацию образовательного процесса. Информация о прогрессе каждого учащегося хранится в формате хронологии выполненных заданий и собранных достижений, что обеспечивает системе возможность отслеживания развития умений и навыков, выявления сильных и слабых сторон в знаниях, а также мониторинга изменений в процессе обучения. Эта методология способствует повышению мотивации обучающихся, оптимизации временных затрат на обучение и улучшению успеваемости за счет индивидуального подхода к обучению, учитывающего когнитивные особенности и специфические потребности каждого ученика.
 3. Применение технологий искусственного интеллекта (NLP) и методов когнитивного моделирования (ACT-R), для анализа решений, предложенных учащимися, позволит реализовать индивидуальный подход к оценке решений с учетом креативности учащихся и выявления пробелов в знаниях.
 4. Веб-интерфейс данной системы будет организован таким образом, чтобы разграничить функционал для учащихся и для преподавателей. Учащиеся получают доступ к функциям просмотра заданий, отслеживания своего прогресса в обучении и получения обратной связи. Преподаватели, в свою очередь, смогут создавать задания, проводить их оценку и мониторинг успеваемости учащихся.

4. Диаграмма классов системы

На основе анализа требований и предложенной архитектуры была разработана диаграмма классов для системы подготовки к олимпиадам. Иерархически структурированная система включает классы пользователей, учебных материалов, в том числе тем, разделов, подразделов, а также классы, предназначенные для отслеживания и оценки результатов обучения.

В рамках этой системы класс «Пользователь» выступает в качестве базового, определяя общие атрибуты всех пользователей, такие как фамилия, имя, отчество, контактные данные, логин и пароль. От данного класса наследуются подклассы «Учащийся» и «Преподаватель».

Класс «Учащийся» характеризуется дополнительными атрибутами номера школы и класса и предоставляет возможность просмотра результатов обучения, а класс «Преподаватель» характеризует специализацию и категорию преподавателя, предоставляет ему право на создание заданий и просмотр результатов учащихся.

Классы «Тема», «Раздел» и «Подраздел» формируют структуру учебных материалов, обеспечивая их иерархическую организацию и связывание теоретического материала с задачами. Шаблон «Типовая задача» используется для генерации конкретных заданий, включая параметры условий, ответы, уровень сложности и методике решения, представленную классом «Методика решения».

Классы «Результаты решения задач» и «Результаты изучения подразделов» фиксируют соответственно данные о попытках решения конкретных заданий и прогресс учащегося по темам и разделам, включая текущий уровень освоения материала и количество решенных задач.

Класс «Задача» как конкретный экземпляр, сгенерированный из типовой задачи, позволяет автоматически проверять ответы ученика с использованием заранее определенной методики решения. Взаимосвязь между «Типовой задачей», «Методикой решения» и параметрами генерации задачи, такими как «Граничное условие переменных», управляет процессом создания заданий и их решением.

Таким образом, предложенная структура системы и взаимосвязи между классами обеспечивают комплексный подход к обучению и подготовке учащихся к олимпиадам, позволяя адаптировать учебный процесс под индивидуальные потребности и способности каждого ученика.

5. Адаптивное обучение на основе анализа данных

Образовательная стратегия, использующая адаптацию к индивидуальным когнитивным особенностям учащихся на основе анализа данных и когнитивного моделирования ACT-R, является перспективным методом улучшения качества обучения. Одной из важных составляющих является сбор и анализ данных о когнитивных характеристиках ученика, что позволяет системе, построенной на принципах архитектуры когнитивного мо-

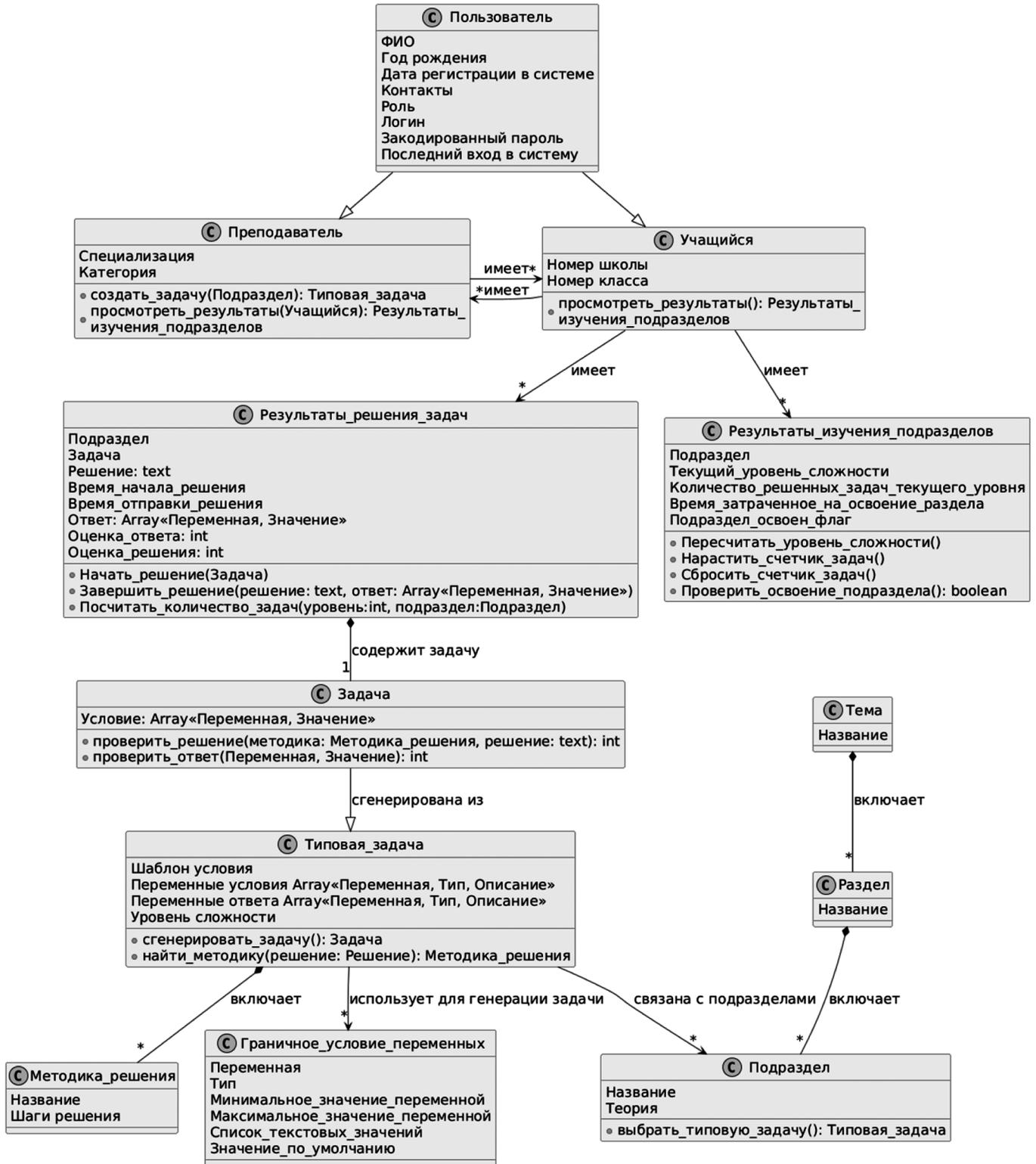


Рис. 1. Диаграмма классов системы подготовки к олимпиадам

делирования, выявлять его сильные и слабые стороны. Например, данные о скорости выполнения задач, числе ошибок и динамике успеваемости позволяют оценить уровень знаний и предсказать успешность выполнения будущих заданий. Модели кластеризации и класси-

фикации могут использоваться для разделения учащихся на группы по сходным уровням и стилям обучения, что позволяет создавать более персонализированные задания и учебные планы.

Заключение

На основании предложенной архитектуры и выявленных требований была разработана система обучения решению типовых задач. Основой системы является распределенный монолит на основе Onion Architecture, что обеспечивает строгую модульность и подготовленность к возможному масштабированию на микросервисы. В рамках данной работы была создана подробная диаграмма классов, которая описывает все основные сущности системы: от пользователей и учебных материалов до механизмов адаптации уровня сложности задач и методов проверки решений.

Система обеспечивает гибкость и масштабируемость, что позволяет адаптировать её под потребности

различных типов пользователей — учащихся и преподавателей. Также описаны возможные подходы к проверке решений учащихся, включающие использование искусственного интеллекта, когнитивного моделирования и дерева решений. Это создаёт основу для дальнейшего научного исследования и развития системы.

Архитектура и структура данных были специально разработаны таким образом, чтобы поддерживать чёткое разделение функциональных слоёв, что упрощает поддержку и развитие системы. Система предоставляет инструменты для отслеживания успеваемости, адаптации уровня сложности и управления учебными материалами, что делает её мощным инструментом для образовательного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- Xiong, Zhang, Li, Haoxuan, Liu, Zhuang, Chen, Zhuofan, Zhou, Hao, Rong, Wenge, & Ouyang, Yuanxin. (2024). A Review of Data Mining in Personalized Education: Current Trends and Future Prospects. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.17236>
- Slavin R.E., & Karweit N.L. (1985). Effects of Whole Class, Ability Grouped, and Individualized Instruction on Mathematics Achievement. *American Educational Research Journal*, 22(3), 351–367. <https://doi.org/10.3102/00028312022003351>
- Kumar A., Ahuja N.J. (2020). An Adaptive Framework of Learner Model Using Learner Characteristics for Intelligent Tutoring Systems. In: Choudhury, S., Mishra, R., Mishra, R., Kumar, A. (eds) *Intelligent Communication, Control and Devices. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 989. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8618-3_45
- Truong H.M. (2016). Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems, and opportunities. *Computers in Human Behavior*, 55(Part B), 1185–1193. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.014>
- Essalmi F., Ayed L.J.B., Jemni M., Graf S., & Kinshuk. (2015). Generalized metrics for the analysis of E-learning personalization strategies. *Computers in Human Behavior*, 48, 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.050>
- Ахметшина Э.И., Пономарёв Н.А., Абдюшева А.Д. Моделирование образовательных траекторий с использованием искусственного интеллекта // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. — 2024. — №01. — С. 20–23 DOI 10.37882/2223–2966.2024.01.03
- Лозинская А.М. Вопросы развития системного мышления в процессе электронного обучения: дифференциально-интеграционный подход. *Образовательные технологии и общество*, vol. 21, № 3, 2018, С. 409–421.
- Лебедева Л.Н. Формирование нового стиля мышления в процессе информатизации общества. *Вестник Армавирского государственного педагогического университета*, № 2, 2022, С. 168–178.
- Сергеев С.Ф. Инструменты обучающей среды: стили обучения. *Школьные технологии*, № 5, 2010, С. 19–27.
- Чистяков А.В. Стили обучения и повышение эффективности учебной деятельности. *Вестник Московского государственного лингвистического университета. Образование и педагогические науки*, № 3 (840), 2021, С. 77–188.
- Shen J.T., Yamashita M., Prihar E., Heffernan N., Wu X., Graff B., & Lee D. (2021). MathBERT: A Pre-trained Language Model for General NLP Tasks in Mathematics Education. arXiv preprint arXiv:2106.07340. URL: <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2106.07340> (дата обращения 26.10.2024)
- Shen J.T., Yamashita M., Prihar E., Heffernan N., Wu X., McGrew S., & Lee D. (2021). Classifying Math Knowledge Components via Task-Adaptive Pre-Trained BERT. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 417–429). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78292-4_33
- Ritter Frank & Tehranchi Farnaz & Oury, Jacob. (2018). ACT-R: A cognitive architecture for modeling cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*. 10. e1488. [10.1002/wcs.1488](https://doi.org/10.1002/wcs.1488).
- Whitehill J. (2013). Understanding ACT-R — an Outsider’s Perspective. Retrieved from <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/1306.0125>.
- Anthony Frazier, Joethi Silva, Rachel Meilak, Indranil Sahoo, Michael Broda, David Chan, *Decision Tree-Based Predictive Models for Academic Achievement Using College Students’ Support Networks*, *J. data sci.* 21(2021), no. 3, 557–577, DOI 10.6339/21-JDS1033
- de Souza Zanirato Maia, J.; Bueno, A.P.A.; Sato, J.R. Applications of Artificial Intelligence Models in Educational Analytics and Decision Making: A Systematic Review. *World* 2023, 4, 288–313. <https://doi.org/10.3390/world4020019>
- Su Ruoyu & Li Xiaozhou & Taibi Davide. (2023). Back to the Future: From Microservice to Monolith. [10.48550/arXiv.2308.15281](https://arxiv.org/abs/2308.15281).
- Шостак И.В., Собчак А.П., Фирсова А.В., Кушнарченко А.С. Агрегация данных для формирования производственных решений на промышленных предприятиях с использованием онтологических систем *Traektorija Nauki = Path of Science*, vol. 2, no. 3, 2016.
- An In-Depth Understanding of Aggregation in Domain-Driven Design. Retrieved from https://www.alibabacloud.com/blog/an-in-depth-understanding-of-aggregation-in-domain-driven-design_598034.