

На правах рукописи

Мащенко Кирилл Алексеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ
ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПЛАТФОРМ**

2.3.8. Информатика и информационные процессы

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Научный руководитель:

Леонов Александр Георгиевич, доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», руководитель цифровой трансформации, заведующий кафедрой ДПО, заведующий сектором Отдела учебной информатики.

Официальные оппоненты:

Григорьев Сергей Георгиевич, член-корреспондент РАО, доктор технических наук, профессор, государственное автономное образовательное учреждение высшего образования города Москвы «Московский городской педагогический университет», профессор департамента информатики, управления и технологий;

Жданова Александра Николаевна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», доцент кафедры программных систем.

Ведущая организация:

Федеральное государственное учреждение «**Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук**», г. Москва.

Защита состоится 16 декабря 2026 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.379.09, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» и на официальном сайте по электронному адресу: https://ssau.ru/resources/dis_protection/mashchenko.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.379.09,
доктор технических наук, доцент

С. В. Востокин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Цифровая экономика ставит задачу массовой подготовки высококвалифицированных специалистов, особенно в области информационных технологий и инженерно-технических дисциплин. При этом цифровая трансформация образования пока не обеспечивает необходимого уровня автоматизации учебного процесса: на преподавателях лежит значительная рутинная нагрузка, связанная с проверкой заданий, ведением отчетности, организацией очного и дистанционного обучения и контролем посещаемости. Это ограничивает возможности индивидуализации обучения, увеличения объема практических заданий и предоставления персонализированной обратной связи. Ключевой задачей становится разработка платформ и интеллектуальных модулей, автоматизирующих рутинные действия преподавателей и расширяющих инструменты содержательной педагогической деятельности. Актуальность подтверждается активизацией исследований по применению искусственного интеллекта в образовании. Задача разработки масштабируемой интеграционной платформы для комбинированного очного и дистанционного обучения с высоким уровнем автоматизации образовательного процесса в вузах ни в России, ни в мире в полной мере не решена. В связи с этим актуальность темы исследования определяется необходимостью разработки универсальных интеллектуальных модулей, обеспечивающих высокий уровень автоматизации образовательного процесса и интегрируемых в цифровые образовательные платформы.

Разработанность темы исследования

Исследования в области автоматизации образовательного процесса связаны с интеллектуальными обучающими системами, предложившими адаптивное обучение, проверку заданий, анализ действий обучающихся и управление обучением. Одной из первых стала SCHOLAR, где обучение строилось как диалог на основе семантических сетей и анализа ошибок обучаемых. Затем получили развитие системы управления обучением (LMS, англ. Learning Management System) Moodle, Blackboard, Google Classroom и отечественные Modeus, In Study и Эквио, реализующие управление курсами, оценку знаний, коммуникацию, дистанционное и смешанное обучение. Масштабируемое онлайн-обучение обеспечивают платформы массовых открытых онлайн-курсов Coursera, Stepik, Открытое образование и Универсариум. В школьном образовании используются СберКласс и Якласс с элементами интеллектуальной поддержки. Методы искусственного интеллекта, учебной аналитики и анализа цифрового следа реализуют AutoTutor, WatsonTutor, CourseSignals и Пифия для автоматизации обратной связи, персонализации и прогнозирования образовательных результатов. Проверку задач по программированию автоматизируют ejudge, Яндекс.Контест и Codeforces.

Значительный вклад в формирование отечественных образовательных сред внесли отечественные исследователи А.П. Ершов (теория программирования и школьная информатика), В.Б. Бетелин (системное программное обеспечение и программные комплексы), А.Л. Семёнов (информатизация образования и методика обучения информатике), А.Г. Кушниренко (учебные программные среды и алгоритмическое обучение), А.Г. Гейн (содержание и учебники школьной информатики), С.Г. Григорьев (ИКТ в образовании), Ю.А. Первин (методика преподавания информатики), В.Г. Житомирский (учебно-методическое обеспечение информатики), Я.Н. Зайдельман (учебные материалы и курсы по информатике), Г.А. Звенигородский (структурирование содержания школьной информатики),

А.А. Кузнецов (образовательные программы и стандарты по информатике), Г.В. Лебедев (учебно-методические комплексы и алгоритмическое мышление), А.Г. Леонов (программные средства поддержки обучения).

При этом существующие решения преимущественно автоматизируют отдельные задачи или базовые функции управления обучением. Интеллектуальные модули для проверки заданий, анализа цифрового следа, адаптивного сопровождения и поддержки преподавателей разрабатываются изолированно. В связи с этим актуальна разработка универсальных интеллектуальных модулей, интегрируемых в цифровые образовательные платформы и обеспечивающих комплексную автоматизацию образовательного процесса.

Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является исследование и разработка универсальных интеллектуальных модулей, архитектуры и принципов их интеграции в цифровые образовательные платформы, направленных на обеспечение высокого уровня автоматизации образовательного процесса, снижение рутинной нагрузки преподавателей и повышение эффективности обучения.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Провести анализ современных технологий автоматизации образовательного процесса, включая методы построения архитектуры и разработки цифровой образовательной платформы с отдельными интеллектуальными модулями, в том числе использующими методы искусственного интеллекта, а также разработать методы интеграции различных цифровых образовательных сред;
2. Разработать нейросетевой модуль проверки свободных текстовых ответов обучающихся, основанный на семантической проверке с использованием построения и обработки графов синтаксического разбора предложения;
3. Разработать нейросетевых ассистентов для контекстной помощи обучающимся при решении задач и помощи преподавателям при создании обучающих материалов и проведении занятий, обеспечивающих повышение эффективности образовательного процесса;
4. Разработать модуль поведенческой аналитики и адаптивного обучения, включающий сбор и обработку цифрового следа обучающихся, генерацию синтетических данных на основе математического понятия сигнатур путей и теоремы об оценке погрешности при обращении сигнатуры для построения индивидуальных траекторий обучения с применением методов искусственного интеллекта.

Научная новизна работы

1. Предложен метод интеграции универсальных интеллектуальных модулей и цифровых образовательных сред в образовательные платформы на основе предложенной архитектуры их взаимодействия, позволяющей расширять функциональные возможности платформ без модификации их базовых компонентов. Метод обеспечивает повышение уровня автоматизации образовательного процесса и предусматривает применение методов искусственного интеллекта при реализации отдельных модулей.
2. Разработан метод семантической проверки свободных текстовых ответов обучающихся на основе глубокого лингвистического и синтаксического анализа с построением и обработкой графов синтаксического разбора. Метод учитывает синонимы, антонимы, область действия отрицаний и структурные соответствия синтаксических конструкций, что повышает точность автоматизированной проверки ответов на русском языке.

3. Разработан метод контекстно-ограниченного взаимодействия с нейросетевыми ассистентами, основанный на автоматическом формировании контекста из структурированных данных образовательного процесса. Метод предусматривает отбор и структурирование передаваемой языковой модели информации, автоматический выбор режимов работы и контроль допустимости ответа на основе архитектурных и дидактических ограничений, обеспечивая методически релевантную поддержку и соблюдение принципов академической честности.

4. Предложен метод представления цифрового следа обучающихся в виде сигнатур путей, включающий алгоритм обращения сигнатуры и теорему об оценке погрешности аппроксимации непрерывных траекторий дискретными путями. Метод позволяет учитывать порядок, взаимосвязи и динамику показателей цифрового следа, расширяя признаковое пространство и повышая информативность данных для моделей машинного обучения, а также обеспечивает генерацию статистически подобных образовательных траекторий для расширения обучающих выборок.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методов интеграции универсальных интеллектуальных модулей и семантического анализа свободных текстовых ответов на основе графов синтаксического разбора, а также в применении сигнатурных методов для представления и обработки цифрового следа обучающихся и доказательстве теоремы об оценке погрешности при обращении сигнатуры.

Практическая значимость работы заключается в применении результатов диссертационной работы для создания основных интеллектуальных модулей, интегрированных и апробированных на базе цифровой образовательной платформы Мирера, внедренной в образовательный процесс в 6 организациях.

Объектом исследования являются процессы автоматизации образовательной деятельности, реализуемые посредством программных решений и цифровых технологий.

Предметом исследования являются набор универсальных интеллектуальных модулей и архитектура их интеграции в цифровую образовательную платформу.

Методология исследования включает методы архитектурного и программно-алгоритмического проектирования, машинного обучения, обработки естественного языка и статистического анализа.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанные архитектура взаимодействия и универсальные интеллектуальные модули для цифровой образовательной платформы, использующие методы искусственного интеллекта, обеспечивают автоматизацию образовательного процесса и интеграцию цифровых образовательных сред.

2. Разработанный нейросетевой модуль проверки свободных текстовых ответов обучающихся позволяет проводить семантический анализ с использованием построения и обработки графов синтаксического разбора предложения с учётом синонимов, антонимов, области действия отрицаний и структурных соответствий синтаксических конструкций.

3. Разработанные нейросетевые ассистенты на основе контекстно-ограниченного взаимодействия обеспечивают поддержку обучающихся при решении учебных задач и помогают преподавателям в создании материалов и проведении занятий, обеспечивая повышение эффективности образовательного процесса.

4. Разработанный модуль поведенческой аналитики и адаптивного обучения,

использующий метод представления цифрового следа обучающихся в виде сигнатур путей, алгоритм обращения сигнатуры и теорему об оценке погрешности, обеспечивает сбор и обработку цифрового следа обучающихся, учёт порядка, взаимосвязей и динамики его показателей, расширяет и повышает информативность данных для моделей машинного обучения, а также обеспечивает генерацию синтетических образовательных траекторий.

Соответствие специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы и охватывает следующие области исследования, входящие в эту специальность:

п. 1. «Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения.»

п. 5. «Лингвистическое обеспечение информационных систем и процессов. Методы и средства проектирования словарей данных, словарей индексирования и поиска информации, тезаурусов и иных лексических комплексов. Методы семантического, синтаксического и прагматического анализа текстовой информации для представления в базах данных и организации интерфейсов информационных систем с пользователями.»

п. 16. «Автоматизированные информационные системы, ресурсы и технологии по областям применения (научные, технические, экономические, образовательные, гуманитарные сферы деятельности), форматам обрабатываемой, хранимой информации. Системы принятия групповых решений, системы проектирования объектов и процессов, экспертные системы и др.»

Публикации

По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, в том числе 5 работ в изданиях, рекомендуемых ВАК, 2 работы в рецензируемых изданиях, входящих в международные базы данных Web of Science / Scopus, 1 работа является главой в коллективной монографии. 3 работы выполнены без соавторов. Получено 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Апробация и внедрение результатов работы

Основные результаты диссертации были доложены на 14-ти международных научных конференциях, в том числе:

– Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании, Красноярск, 2020, 2022, 2024, 2025;

– Новые образовательные стратегии в современном информационном пространстве, Санкт-Петербург, 2023;

– Новые образовательные стратегии в открытом цифровом пространстве, Санкт-Петербург, 2024, 2025, 2026;

– СПО: от обучения до разработки, Переславль-Залесский, 2022;

– Физико-математические, естественно-научные и социальные аспекты современного развития науки, техники и общества, Казань, 2024;

– Наука и образование в обеспечении устойчивого развития человеческого потенциала в условиях перехода к цифровой экономике, Пермь, 2024, 2025;

– Сквозные технологии в преподавании физики, математики, информатики, Пермь, 2026;

– Фундаментальные проблемы обучения математике, информатике и

информатизации образования, Елец, 2024.

Основные результаты диссертационной работы использовались при выполнении:

- Госзадания по теме № FNEF-2022-0010;
- Госзадания по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1);
- Гранта РФФИ 19-29-14057.

Разработанные в рамках диссертационной работы универсальные интеллектуальные модули, интегрированные в цифровую образовательную платформу Мирера, внедрены в образовательный процесс в следующих учреждениях:

- ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»;
- ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»;
- АНО ДПО «Институт образовательных технологий»;
- ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;
- ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»;
- ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет».

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы, включающего 165 наименований, и двух приложений. Объём работы составляет 171 страницу машинописного текста.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении приведена общая характеристика работы, включая актуальность и разработанность темы, цели и задачи исследования, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, объект и предмет исследования, методологию исследования, положения, выносимые на защиту, соответствие специальности, публикации, апробацию и внедрение результатов работы.

В первой главе выполнен комплексный анализ эволюции цифровых образовательных платформ и автоматизированных обучающих систем, а также их архитектурных и функциональных особенностей в контексте автоматизации образовательного процесса. На основе рассмотрения отечественных и зарубежных решений выявлены системные ограничения существующих платформ и обоснована необходимость разработки универсальных интеллектуальных модулей автоматизации образовательного процесса, интегрируемых в цифровые образовательные платформы и ориентированных на комплексную поддержку деятельности преподавателя и повышение эффективности обучения.

Современные цифровые образовательные платформы являются ключевым элементом инфраструктуры образования, обеспечивая масштабируемость, гибкость организации обучения, доступность учебных материалов и автоматизацию отдельных элементов учебного процесса. При этом существенным ограничением остаётся высокая доля рутинной нагрузки преподавателей, связанной с проверкой заданий, контролем посещаемости, формированием отчётности и сопровождением учебного процесса. Функционально-модульный анализ позволил выделить основные компоненты автоматизации: управление обучением, оценку и контроль знаний, коммуникацию, автоматическую проверку программного кода и текстовых ответов, адаптивные образовательные траектории, аналитику цифрового следа, интеллектуальную поддержку и интеграцию с внешними системами. Анализ показал,

что большинство платформ реализует базовые функции управления обучением, контроля знаний и коммуникации, но не обеспечивает комплексной автоматизации и ориентировано преимущественно на онлайн-обучение, что ограничивает их применение в очном и гибридном форматах. Аналитические возможности часто ограничиваются отчётностью, а применение искусственного интеллекта для проверки заданий, обратной связи, рекомендаций и интеллектуальной поддержки реализуется преимущественно в специализированных изолированных решениях, которые не интегрированы в единое образовательное пространство.

В совокупности анализ позволил выявить системный разрыв между возможностями современных технологий искусственного интеллекта и уровнем их интеграции в цифровые образовательные платформы. Обоснована необходимость создания универсальных интеллектуальных модулей, обеспечивающих автоматизацию рутинных процессов, поддержку очных, дистанционных и гибридных форматов обучения, сбор и анализ цифрового следа обучающихся и повышение эффективности обучения при системной поддержке преподавателя.

Во второй главе рассматривается реализация отдельных интеллектуальных модулей цифровой образовательной платформы с использованием методов искусственного интеллекта, предназначенных для автоматизации контроля учебной посещаемости и активности, обнаружения заимствований в решениях задач по программированию, проверки развернутых текстовых ответов и нейросетевой поддержки обучающихся и преподавателей. Реализованные решения ориентированы на сохранение ведущей роли преподавателя и самостоятельной учебной деятельности обучающихся при одновременном повышении масштабируемости и эффективности образовательного процесса.

Автоматизация учёта посещаемости при цифровой трансформации образования требует повышения точности идентификации, масштабируемости и адаптивности существующих подходов к смешанным форматам обучения. Для решения этих задач при проведении очных занятий реализованы методы, использующие геолокацию преподавателя и обучающихся в качестве опорной информации, а также динамически генерируемые QR-коды, обеспечивающие точную временную привязку и защиту от повторного использования. Для дистанционного формата реализована многоуровневая система мониторинга активности обучающихся, учитывающая участие в видеоконференциях и взаимодействие с учебными материалами. Итоговый балл W начисляется пропорционально фактическому времени активности t_{fact} относительно нормативной продолжительности занятия T_{max} , но не превышает максимально допустимое значение W_{max} , формула (1):

$$W = W_{max} \cdot \min\left(1, \frac{t_{fact}}{T_{max}}\right). \quad (1)$$

Гибридная архитектура объединяет оба подхода и позволяет фиксировать присутствие обучающихся очно, онлайн или при самостоятельном изучении материалов, поддерживая дифференцированную оценку разных форм участия. Для дополнительной верификации корректности очного учёта посещаемости применяется контрольная метрика подсчёта количества людей в аудитории по фотографии с использованием методов компьютерного зрения на основе нейросетевой модели MTCNN, устойчивой к частичному перекрытию лиц и плохим условиям съёмки, что предотвращает фиктивную регистрацию отсутствующих обучающихся.

Для выявления заимствований в программных решениях обучающихся разработан модуль антиплагиата, использующий блочное сопоставление

синтаксически нормализованных фрагментов кода. Алгоритм включает многоэтапную нормализацию кода решения, включая удаление комментариев и незначимых пробелов, унификацию идентификаторов, а также приведение семантически эквивалентных конструкций к каноническому виду. После предобработки программа преобразуется в массив синтаксических единиц, для которых осуществляется поиск максимальных непрерывных совпадающих блоков с применением расстояния Левенштейна в качестве метрики сходства. Каждая пара блоков рассматривается как кандидат на заимствование с последующим ранжированием по длине блока и усреднённой вероятности совпадения, Рисунок 1. Дополнительно реализован алгоритм разрешения конфликтов пересечений между кандидатами, обеспечивающий однозначное покрытие и максимальный охват совпадающих фрагментов, Рисунок 2. Предложенный подход устойчив к переименованию переменных, перестановке блоков и локальным модификациям. Сопоставление с эталонным решением преподавателя позволяет исключать его из анализа заимствований и снижать ложноположительные срабатывания. Интеграция с мониторингом учебной активности позволяет учитывать время выполнения, динамику изменений кода и взаимодействие с учебными материалами для выявления косвенных признаков академических нарушений.

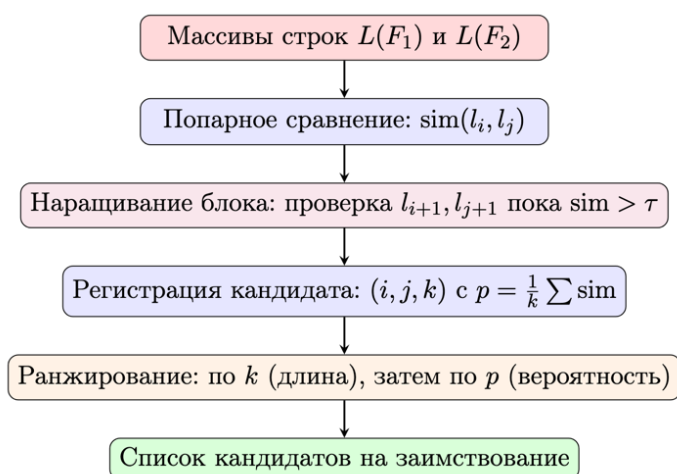


Рисунок 1 – Алгоритм поиска блоков заимствований в коде

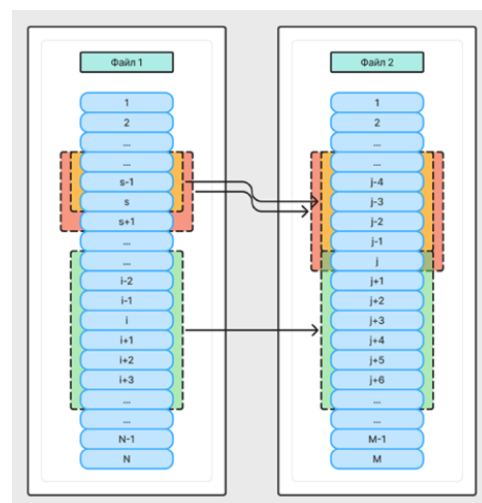


Рисунок 2 – Алгоритм разрешения конфликтов между кандидатами

Проверка текстовых работ характеризуется высокой трудоёмкостью, субъективностью и ограниченной масштабируемостью, а существующие методы ориентированы на поверхностное сходство текстов, имеют ограниченную интерпретируемость и недостаточно учитывают особенности русскоязычных ответов. В связи с этим разработан модуль автоматизированной проверки развернутых текстовых ответов на основе глубокого лингвистического и синтаксического анализа с последующим многоуровневым семантическим сравнением ответа обучающегося с эталонными предложениями преподавателя. Для морфологического и синтаксического анализа используются модели машинного обучения проекта Natasha с построением графа синтаксического разбора, отражающего грамматические и смысловые связи между словами. Разработанный алгоритм предобработки графа удаляет лексически малозначимые элементы, устраняет циклы, объединяет компоненты связности в единое дерево и распространяет метки отрицаний, в том числе многоуровневых. После построения синтаксических деревьев узлы

классифицируются по типам: имена, даты и текстовые элементы. Для текстовых узлов применяются лемматизация, стемминг, а также учитываются синонимы, антонимы, местоимения и метки отрицания, что позволяет определить совпадающие, противоположные и наложившиеся вершины. Сравнение синтаксических деревьев осуществляется с помощью алгоритма поиска оптимального пути редактирования. Итоговая метрика учитывает доли наложения и совпадения, а также количество логических противоречий. Для классификации используются два пороговых значения: при низкой оценке ответ считается неверным, при высокой автоматически засчитывается, а промежуточные результаты передаются преподавателю на ручную проверку.

Интеллектуальные нейросетевые ассистенты, интегрированные в цифровые образовательные платформы, позволяют автоматически использовать учебный контекст без ручной передачи условий заданий, кода и результатов проверки. Сочетание языковых моделей с архитектурными и дидактическими ограничениями платформы позволяет снизить риски недостоверных ответов, нарушения академической честности и потери управляемости учебного процесса. Реализован нейросетевой ассистент обучающегося для контекстной поддержки при обучении программированию, формирующий методически корректные подсказки без предоставления готовых решений. Запрос осуществляется в предусмотренном интерфейсом режиме без произвольного ввода, а контекст формируется автоматически на основе условия задачи, кода обучающегося, результатов тестирования и скрытого эталонного решения, которое позволяет выявлять первопричины ошибок и направлять обучающегося к академически корректному способу решения. Дополнительно реализован нейросетевой ассистент преподавателя для автоматизации подготовки образовательного контента, включая формирование заданий и диагностических комментариев по решениям. Генерация выполняется на основе учебных материалов преподавателя, что ограничивает произвольное создание контента и обеспечивает соответствие содержанию занятия, включая специфический учебный материал.

В совокупности разработанные интеллектуальные модули демонстрируют возможность практического применения методов искусственного интеллекта без утраты педагогического контроля и с соблюдением академических и этических требований. Их использование позволяет повысить масштабируемость образовательного процесса, улучшить качество педагогической поддержки и снизить нагрузку на преподавателей, при этом сохранив самостоятельную деятельность обучающихся и целостность методической и педагогической структуры обучения.

В третьей главе представлена совокупность математических методов, алгоритмов и программных средств, предназначенных для анализа и прогнозирования цифрового следа обучающихся и поддержки управленческих и педагогических решений. Приводится разработанный программный модуль аналитики, обеспечивающий сбор, обработку и визуализацию поведенческих показателей в реальном образовательном процессе. Рассматриваются методы представления цифрового следа в виде многомерных временных рядов и сигнатурный аппарат их анализа. Ключевым результатом является эволюционный алгоритм обращения логарифмической сигнатуры, корректность и устойчивость которого обоснованы сформулированной и доказанной теоремой об оценке погрешности аппроксимации непрерывных траекторий дискретными путями.

Цифровой след обучающегося рассматривается как многомерный и

неравномерный во времени массив данных, включающий баллы, посещаемость, количество и структуру попыток, временные характеристики активности, показатели заимствований и другие поведенческие признаки. Это позволяет анализировать результаты и процесс формирования знаний и навыков, выявлять характерные траектории, поведенческие паттерны и признаки затруднений. Разработан и внедрён модуль сбора, агрегации и многоуровневой визуализации цифрового следа, обеспечивающий сравнительный анализ обучающихся и групп, проверку педагогических гипотез о структуре и сложности курса и оценку эффективности методических решений.

Математической основой анализа динамики учебной активности служит представление цифрового следа в виде многомерных временных рядов и их последующее кодирование с использованием аппарата сигнатур путей. Сигнатурой пути $X: [a, b] \mapsto R^d$ называется бесконечный набор $S(X)_{a,b}$ всех повторных интегралов от X , который можно ограничить до конечного набора чисел k -го уровня сигнатуры, формула (2):

$$S(X)_{a,b} = (1, S(X)_{a,b}^1, \dots, S(X)_{a,b}^d, S(X)_{a,b}^{1,1}, S(X)_{a,b}^{1,2}, \dots), \text{ где} \\ S(X)_{a,t}^{i_1, \dots, i_k} = \int_{a < s < t} S(X)_{a,s}^{i_1, \dots, i_{k-1}} dX_s^{i_k} = \int_{a < t_k < t} \dots \int_{a < t_1 < t_2} dX_{t_1}^{i_1} \dots dX_{t_k}^{i_k}. \quad (2)$$

Сигнатурное представление преобразует траектории в компактное и информативное описание, сохраняющее порядок событий, взаимосвязи между показателями и динамику изменений во времени. Рассмотрен математический аппарат сигнатур путей, включая тождество Чена, которое используется для практического вычисления сигнатур кусочно-линейных путей по последовательности наблюдений, формула (3):

$$S(X)_{a,c}^{i_1, \dots, i_k} = \sum_{m=0}^k S(X)_{a,b}^{i_1, \dots, i_m} S(X)_{b,c}^{i_{m+1}, \dots, i_k}. \quad (3)$$

Сигнатурные методы также использованы для генерации синтетических образовательных траекторий, сохраняющих статистические свойства исходных данных и взаимосвязи между различными показателями образовательной траектории, что позволяет расширять выборку при недостаточном объёме реальных данных. Для восстановления временных рядов по сгенерированным сигнатурам предложен эволюционный алгоритм обращения, который осуществляет поиск кусочно-линейных траекторий в дискретном пространстве допустимых приращений, минимизируя расстояние между заданной и восстановленной сигнатурами. Сформулирована и доказана теорема об оценке погрешности аппроксимации непрерывных траекторий дискретными путями, что гарантирует контролируемую точность восстановления образовательных траекторий при заданных параметрах дискретизации.

Теорема об оценке погрешности. Пусть даны фиксированные числа $h_i \in R_+$, $n_i \in N$, $\Delta t \in R_+$. Пусть $X: [a, b] \mapsto R^d$ – непрерывный и кусочно-дифференцируемый путь, у которого $\forall i: |X'_i(t)| \leq \frac{h_i n_i}{\Delta t}$. Тогда существует кусочно-линейный путь $\hat{X}: [a, b] \mapsto R^d$ с приращениями по каждой координате i со значениями из множества $\{-n_i \cdot h_i, \dots, 0, \dots, n_i \cdot h_i\}$ и "изломами" в точках $k \cdot \Delta t, k \in Z$ такой, что:

$$\forall i: \sup_{t \in [a, b]} |X_i(t) - \hat{X}_i(t)| \leq h_i \cdot \left(2n_i + \frac{1}{2}\right).$$

Результаты исследования подтверждают эффективность предложенных методов для решения задач образовательной аналитики. Применение цифрового

следа и сигнатурных методов позволяет осуществлять формализованный анализ учебной активности обучающихся и выявлять закономерности образовательных траекторий, что создаёт основу для поддержки принятия педагогических решений и адаптивного управления обучением. Разработанные алгоритмы и математические модели могут быть интегрированы в современные системы управления обучением, обеспечивая обработку, интерпретацию и визуализацию данных образовательной активности.

В четвертой главе рассмотрены вопросы интеграции разработанных интеллектуальных модулей в единую цифровую образовательную платформу, а также проведена их экспериментальная апробация в условиях реального образовательного процесса. Предложена архитектура интеграции интеллектуальных модулей и внешних цифровых образовательных сред, обеспечивающая формирование единого цифрового образовательного пространства и поддержку различных образовательных сценариев. Проведена экспериментальная оценка разработанных решений, включающая апробацию модулей в образовательном процессе.

В качестве экспериментальной базы для апробации предложенных решений и проверки их универсальности была выбрана цифровая образовательная платформа Мирера. Архитектура платформы включает модули управления учебным контентом, взаимодействия пользователей и сбора цифрового следа и допускает расширение функциональности за счёт подключения дополнительных модулей. Платформа ориентирована на поддержку преподавателя и автоматизацию рутинных процессов, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта, поддерживает интерактивные занятия с автоматической проверкой заданий по различным дисциплинам, а также сбор детальной поведенческой аналитики и цифрового следа для корректировки учебного процесса и построения адаптивных траекторий.

Проектирование Миреры основано на принципах модульности, масштабируемости и независимого развития функциональных компонентов. В диссертационной работе реализованы механизмы внутренней и внешней интеграции интеллектуальных модулей, Рисунок 3. Внутренняя интеграция основана на единой инфраструктуре обработки данных и событийном взаимодействии и апробирована на модулях учета посещаемости и аналитики цифрового следа. Внешняя интеграция осуществляется через API и RabbitMQ и реализована для модулей антиплагиата, проверки текстовых ответов, нейромодулей и рассылки уведомлений.

Для интеграции внешних цифровых образовательных сред (ЦОС) с цифровой образовательной платформой (ЦОП) Мирера разработаны различные архитектурные модели взаимодействия, учитывающие направление обмена и способы синхронизации данных, что позволяет объединять специализированные инструменты обучения в единое образовательное пространство без дублирования их функциональности. ЦОС ЭВМ-практикум интегрирована с инициацией со стороны ЦОП: задания создаются в ЦОП, выполняются и визуализируются автономно в ЦОС, после чего результаты передаются в ЦОП для дополнительной проверки. ЦОС КуМир встроена вместе с программным ядром для выполнения и проверки заданий. ЦОС ПиктоМир интегрирована с инициацией со стороны ЦОС: задания создаются и редактируются в ЦОС и экспортируются в ЦОП для отображения и сбора результатов. ЦОС «Электронные таблицы» встроена с интерфейсом и автоматической проверкой формул. При интеграции с независимыми образовательными платформами Мирера выполняет функции вычислительного и методического ядра.

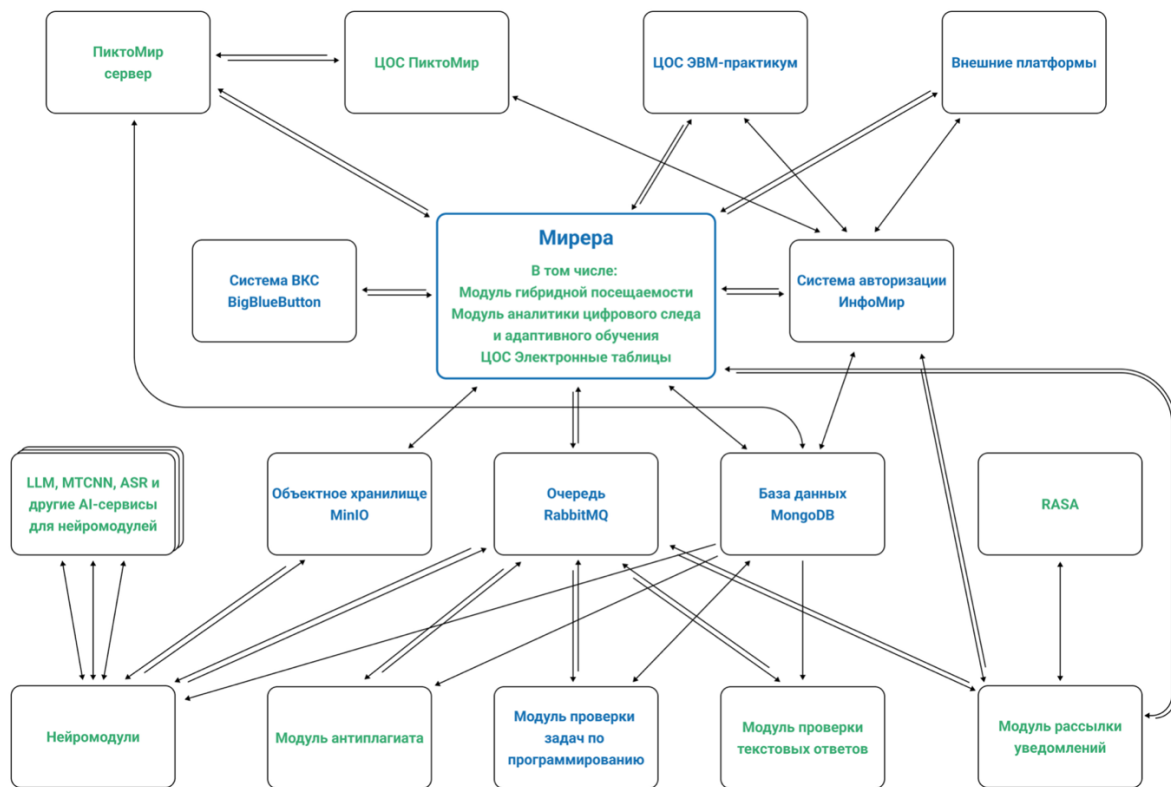


Рисунок 3 – Архитектура цифровой образовательной платформы Мирера и механизмов интеграции разработанных интеллектуальных модулей и цифровых образовательных сред

Интеграция разработанных универсальных интеллектуальных модулей обеспечила их апробацию в реальном образовательном процессе на дисциплинах различного профиля. Оценивались временные затраты, частота использования, точность алгоритмов, нагрузка на преподавателя, а также изменения учебной активности и вовлеченности обучающихся. Внедрение модуля автоматизированного учета посещаемости сократило время фиксации посещаемости с 5 минут до 30-60 секунд для групп из 20-30 человек, обеспечив снижение временных затрат на 80-90%. Автоматическая обработка также повысила достоверность данных за счет выявления ошибочных и фиктивных записей и позволила учитывать фактическое время присутствия и активность при дистанционном обучении. Апробация алгоритма обнаружения заимствований показала увеличение F1-меры с 92.73% до 99.19% по сравнению с базовым методом отпечатков на токенизированной программе и снижение доли пропущенных заимствований с 13.55% до 0.85%. При одновременном применении различных способов маскировки доля выявленных заимствований увеличилась с 58.47% до 96.19%, что характеризует устойчивость метода к структурным и синтаксическим изменениям кода.

Апробация модуля автоматизированной семантической проверки текстовых ответов показала возможность безошибочной автоматической классификации 87.25% ответов при F1-мере 100%. В сравнении с единственной работающей с русскоязычными текстами системой, для которой F1-мера составила 89.68%, разработанный подход обеспечивает автоматическую классификацию с передачей неопределенных случаев на дополнительную проверку. Пороговая классификация ограничила долю таких случаев 10-15%, обеспечив эффективное распределение нагрузки между системой и преподавателем. Использование формализованного

алгоритма сравнения синтаксических деревьев обеспечило воспроизводимость и согласованность оценивания, минимизировав влияние субъективных факторов.

Экспериментальная апробация нейромодулей показала, что обращения к ассистенту коррелируют со сложностью заданий и преимущественно возникают при реальных затруднениях. Активное использование ассистента сопровождается медианным ростом итоговых образовательных показателей на 15.92% при повышении вовлечённости и устойчивости в процессе решения задач. Среднее количество обращений за занятие составило около 3.74 на одного взрослого обучающегося и 5.87 на школьника, что при группе из 28 человек соответствует снижению пиковой нагрузки на преподавателя на 104-165 индивидуальных консультаций. Использование ассистента преподавателя для генерации заданий на основе лекционного материала сократило время их подготовки с 40-90 до 5-10 минут, снизив трудозатраты преподавателя в среднем в 5-8 раз.

Внедрение аналитического модуля цифрового следа обеспечило системную обработку и визуализацию образовательных данных, включая распределения, динамику и взаимосвязи метрик. Это позволило выявлять неоднородность усвоения материала, сравнивать учебные группы и локализовать проблемные этапы обучения, формируя основу для обоснованных педагогических решений и прогнозирования академических результатов.

Экспериментальная апробация сигнатурных методов проводилась на примере задачи анализа и прогнозирования образовательных траекторий. Для каждого обучающегося формировалось скользящее окно наблюдений, охватывающее несколько последних учебных активностей, по которому вычислялось сигнатурное представление, а целевым значением служило следующее состояние траектории. По сравнению с базовой регрессионной моделью, использующей исходные значения временного ряда, сигнатурная модель при каждом исследованном размере окна обеспечила снижение MAE на тестовой выборке на 7.30-8.80%.

Таким образом, результаты экспериментальной апробации подтвердили эффективность разработанных интеллектуальных модулей и предложенных механизмов их интеграции в цифровую образовательную платформу. Реализованные решения обеспечили снижение трудозатрат преподавателей, повышение объективности и воспроизводимости оценивания, расширение возможностей образовательной аналитики и поддержку адаптивных образовательных траекторий обучающихся. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования модульной архитектуры и технологий искусственного интеллекта для построения масштабируемых цифровых образовательных платформ, способных эффективно функционировать в условиях различных образовательных сценариев и платформенных реализаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационного исследования были успешно решены поставленные задачи, направленные на разработку универсальных интеллектуальных модулей, обеспечивающих высокий уровень автоматизации образовательного процесса. Полученные результаты направлены на снижение рутинной нагрузки преподавателей, повышение прозрачности и управляемости учебного процесса, а также создание условий для анализа и сопровождения индивидуальных образовательных траекторий обучающихся. Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведён комплексный анализ современных технологий автоматизации образовательного процесса, включая архитектурные принципы построения и разработки цифровых образовательных платформ с отдельными интеллектуальными модулями, использующими методы искусственного интеллекта, что позволяет проводить комплексную цифровую трансформацию образовательного процесса. Разработаны подходы к интеграции интеллектуальных модулей и различных цифровых образовательных сред, что обеспечивает гибкость и масштабируемость образовательной экосистемы;

2. Разработан нейросетевой модуль проверки свободных текстовых ответов обучающихся, основанный на семантической проверке с использованием построения и обработки графов синтаксического разбора предложения, с учетом синонимов, антонимов, структуры предложений и многоуровневых отрицаний, что позволяет объективно оценивать смысловое содержание развёрнутых ответов и существенно снижать нагрузку на преподавателей;

3. Разработаны нейросетевые ассистенты для контекстной помощи обучающимся в процессе решения задач, способствуя развитию навыков самостоятельной работы, а также для помощи преподавателям при создании обучающих материалов и проведении занятий, что оптимизирует методическую работу и повышает вариативность учебных материалов;

4. Разработан модуль поведенческой аналитики и адаптивного обучения, включающий систему сбора и обработки цифрового следа обучающихся, а также метод его представления в виде сигнатур путей, включающий алгоритм обращения сигнатуры и доказанную теорему об оценке погрешности аппроксимации непрерывных траекторий дискретными путями, что позволяет учитывать порядок, взаимосвязи и динамику показателей цифрового следа при построении моделей машинного обучения и обеспечивать генерацию синтетических образовательных траекторий для расширения обучающих выборок.

Полученные в диссертационной работе результаты образуют целостный программно-архитектурный и методический комплекс, в котором архитектура цифровой образовательной платформы, интеллектуальные модули автоматизации и методы анализа цифрового следа функционально взаимосвязаны. Предложенные решения ориентированы на использование в реальных образовательных сценариях и могут быть адаптированы к различным дисциплинам и форматам обучения без изменения базовых архитектурных и алгоритмических принципов.

Практическая направленность диссертационной работы заключается в возможности внедрения разработанных архитектурных решений, интеллектуальных модулей и аналитических методов в состав цифровых образовательных платформ, используемых в образовательных организациях. Предложенные подходы создают основу для дальнейшего развития интеллектуальных средств поддержки обучающихся и преподавателей, расширения аналитических возможностей образовательных систем и применения методов машинного обучения для управления образовательными траекториями.

Таким образом, поставленная цель диссертационного исследования достигнута, все задачи решены. Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие отечественных цифровых образовательных технологий и создают основу для дальнейших исследований в области интеллектуальной автоматизации образовательного процесса, адаптивного обучения и анализа образовательных данных.

Основные публикации автора по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 2.3.8 и/или индексируемых реферативными базами данных Web of Science / Scopus:

1. Mashchenko, K. A. Basic Programming Concepts as Explained for Preschoolers / K. A. Mashchenko, V. B. Betelin, A. G. Kushnirenko, A. G. Leonov // International Journal of Education and Information Technologies. – 2021. – Vol. 15. – P. 245–255. – DOI 10.46300/9109.2021.15.25.
2. Mashchenko, K. A. Signature Methods for Time Series Analysis / K. A. Mashchenko // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2025. – Vol. 59, No. S3. – P. S261-S268. – DOI 10.3103/S0005105525700888
3. Мащенко, К. А. Автоматизация проверки семантической составляющей текстовых ответов обучающихся в цифровой образовательной платформе / К. А. Мащенко, А. Г. Леонов, Н. С. Мартынов [и др.] // Программные продукты и системы. – 2024. – Т. 37, № 3. – С. 440-452. – DOI 10.15827/0236-235X.147.440-452.
4. Мащенко, К. А. Сигнатурные методы анализа временных рядов / К. А. Мащенко // Электронные библиотеки. – 2025. – Т. 28, № 3. – С. 681-700. – DOI 10.26907/1562-5419-2025-28-3-681-700.
5. Мащенко, К. А. Аналитика и нейросетевая генерация цифрового следа для построения персонализированных образовательных траекторий / К. А. Мащенко, А. Г. Леонов, Н. С. Мартынов [и др.] // Информатика и образование. – 2025. – Т. 40, № 4. – С. 6-17. – DOI 10.32517/0234-0453-2025-40-4-6-17
6. Мащенко, К. А. Автоматизированное формирование образовательных видеоматериалов на основе модульной системы цифрового двойника преподавателя / К. А. Мащенко, А. Г. Леонов, Н. С. Мартынов [и др.] // Программные продукты и системы. – 2025. – Т. 38, № 4. – С. 694-703. – DOI 10.15827/0236-235X.152.694-703
7. Мащенко, К. А. Интеграция нейросетевого ассистента обучающихся по программированию в цифровую образовательную платформу / К. А. Мащенко, А. Г. Кушниренко, А. Г. Леонов [и др.] // Информатика и образование. – 2026. – Т. 41, № 1. – С. 23-36. – DOI 10.32517/0234-0453-2026-41-1-23-36.

Глава в коллективной монографии:

8. Мащенко, К. А. Изучение конструкций структурного программирования в школьном курсе информатики / К. А. Мащенко, А. Г. Кушниренко, А. Г. Леонов, М. В. Райко // Избранные вопросы цифровой трансформации образования. – 2026. – Т. 3. – С. 44–55.

Кроме указанных, 11 работ опубликованы в иных рецензируемых научных изданиях и 9 работ опубликованы в сборниках трудов научных конференций.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025694118. Программный модуль автоматизированной семантической проверки открытых текстовых ответов на русском языке : заявлено 25.11.2025 : опубликовано 03.12.2025 / Мащенко К. А., Леонов А. Г. ; правообладатель НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026666357. Модуль автоматизированного выявления заимствований в программном коде с учетом синтаксических особенностей языков программирования : заявлено 17.04.2026 : опубликовано 01.06.2026 / Мащенко К. А., Леонов А. Г. ; правообладатель НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.