

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

На правах рукописи

Тимофеев Александр Николаевич

МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБУЧЕНИИ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

Михайлова Светлана Сергеевна,
доктор экономических наук, доцент

Москва – 2025

Диссертация представлена к публичному рассмотрению и защите в порядке, установленном ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» в соответствии с предоставленным правом самостоятельно присуждать ученые степени кандидата наук, ученые степени доктора наук согласно положениям пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

Публичное рассмотрение и защита диссертации состоятся 10 февраля 2026 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Финансового университета Д 505.001.126 по адресу: Москва, Ленинградский проспект, д. 51, корп.1, аудитория 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в диссертационном зале Библиотечно-информационного комплекса ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» по адресу: 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2, комн. 100 и на официальном сайте Финансового университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу: www.fa.ru

Персональный состав диссертационного совета:

председатель – Шевцов В.А., д.техн.н., профессор;
заместитель председателя – Рябов П.Е., д.физ.-мат.н., доцент;
ученый секретарь – Прокопчина С.В., д.техн.н., профессор;

члены диссертационного совета:

Кочкаров А.А., д.техн.н., доцент;
Судаков В.А., д.техн.н., доцент
Тимошенко А.В., д.техн.н., профессор;
Фархадов М.П., д.техн.н., с.н.с.

Автореферат диссертации разослан 15 декабря 2025 г.

I Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Современное образование характеризуется активным внедрением цифровых технологий, что способствует переходу от традиционных форм обучения к электронным. Одной из ключевых тенденций является персонализация образовательного процесса, которая реализуется через построение индивидуальных образовательных траекторий (далее – ИОТ). Однако задача обеспечения достижения обучающимися заданного уровня знаний, умений и навыков (далее – ЗУН) в установленные сроки остается недостаточно решенной. В условиях роста сложности образовательных программ и увеличения объема информации существующие электронные образовательные системы (далее – ЭОС) не способны оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям и индивидуальным особенностям обучающихся, что снижает их эффективность.

Существующие ЭОС не обеспечивают достижения гарантированного результата в регламентированные сроки, что обусловлено отсутствием учета деструктивных факторов.

Разработка модели и методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории, обеспечивающей достижение заданного уровня ЗУН за регламентированное время, является актуальной научной задачей, решение которой позволит повысить эффективность электронного обучения. Предлагаемые в работе модели и методы основаны на синтезе нейронных сетей, многоагентного подхода и процессов принятия решений, что позволяет учесть недетерминированность учебного процесса и влияние деструктивных факторов. Использование нейросетей глубокого обучения (далее – НГО), применение алгоритмов генерации с дополненной выборкой для формирования базы знаний позволят создать интеллектуальную образовательную систему, способную адаптироваться к изменяющимся условиям и потребностям обучающихся.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и методические основы адаптивного обучения, моделирования учебного процесса и проектирования интеллектуальных образовательных систем исследовали такие ученые, как А.А. Власенко, М.А. Косоногова, И.А. Кречетов, Е.Ю. Благов, И.А. Лещева, С.А. Щербан, О.Х.З. Аль-Дулаими, Р.Е. Медведев, Ф.Х. Нгуен, F. Osborne, А.А. Сеньковская, А.В. Макаров, О.В. Перченко.

Вопросы применения больших языковых моделей при построении индивидуальной образовательной траектории и адаптивном обучении программированию изучали S. Xu, X. Zhang, L. Qin, B. Radmehr, A. Singla, T. Käser, C. Chen, A. Leitch, J. Lu, J. Chen, C. Lee, J. Xiong, A. Salmon, K. Hammer, P. Denny, V. Kumar, N. Giacaman, C. Kerslake, J. Prather, H. Keuning, N. Kiesler, D. Schiffner, J. Savelka, A. Luxton-Reilly.

Интеграция адаптивного обучения программированию с применением больших языковых моделей в информационные системы представлены в работах C. Qian, P. Denny, T. Wang. Подходы к реализации многоагентных систем рассматривали В.Б. Тарасов, А.В. Кузнецов, Ю.Ф. Тельнов, В.А. Казаков, Т.М. Шамсутдинова, С.А. Iglesias, M. Garijo, J.C. Gonzalez. Несмотря на значительный объем исследований в области адаптивного обучения, искусственного интеллекта и управления ИОТ, остаются недостаточно изученными вопросы оперативного формирования ИОТ, обеспечивающего достижение ЗУН в регламентированные сроки в условиях воздействия деструктивных факторов.

Объектом исследования является процесс оперативного принятия решений по динамической корректировке индивидуальной образовательной траектории, направленный на обеспечение достижения заданного уровня знаний, умений и навыков обучающимся в установленные образовательным стандартом сроки.

Предметом исследования являются математические модели, методы и алгоритмы, обеспечивающие формирование и корректировку индивидуальных образовательных траекторий в интеллектуальных электронных образовательных системах (далее – ИЭОС). В работе рассматриваются детерминированные модели, основанные на аналитических зависимостях и модели, оперирующие нечеткими, неполными данными.

Целью исследования является разработка метода управления индивидуальной образовательной траекторией в виде комплекса проблемно-ориентированных программ, обеспечивающих достижение требуемого уровня знаний, умений и навыков за установленное время при обучении программированию в интеллектуальной электронной образовательной системе.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих **задач**:

1) Провести анализ современных моделей, методов и технологий искусственного интеллекта, применяемых для формирования индивидуальных образовательных траекторий в электронном обучении. Выявить деструктивные факторы,

влияющие на достижение заданного уровня ЗУН в регламентированные сроки, и проанализировать существующие подходы к их учету.

2) Разработать модель взаимодействия участников учебного процесса для оперативного формирования ИОТ, обеспечивающую достижение заданного уровня ЗУН за регламентированное время.

3) Разработать методику оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории, формализующую процедуру динамической корректировки ИОТ на основе результатов моделирования взаимодействия участников и оценки текущего состояния процесса обучения.

4) Разработать практические рекомендации по созданию комплекса проблемно-ориентированных программ для оперативной корректировки индивидуальной образовательной траектории с учетом соблюдения заданного уровня знаний, умений и навыков и сроков обучения.

Область исследования диссертации соответствует п. 8. «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента»; п. 9. «Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий (технические науки)» Паспорта научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Научная новизна проведенного теоретического и экспериментального исследования заключается в следующем:

1) Разработана модель взаимодействия участников учебного процесса для формирования индивидуальной образовательной траектории при обучении программированию в интеллектуальной электронной образовательной системе, отличающаяся от известных моделей, предложенных А.А. Василенко, И.А. Кречетовым, Е.Ю. Благovým, И.А. Лещевой, С.А. Щербан, Д.А. Ульяновым, О.Х.З. Аль-Дулаими, F. Osborne и E. Motta, D. Edge тем, что:

– двухуровневая зависимость индивидуальной образовательной траектории от текущих оценок показателей восприятия и реакции обучаемого с учетом действующих деструктивных факторов сформирована по результатам представления участников учебного процесса имитационными моделями с функциями интеллектуальных агентов, контекст которых формируется из базы знаний, содержащей онтологический сегмент

с сущностями и отношениями, используемыми в семантической модели заданной предметной области;

- параметры ИОТ, формализуемой марковским процессом принятия решений, учитывают результаты прогноза показателей восприятия и реакции обучаемых на корректировку индивидуального учебного плана по данным сформированной нейросети глубокого обучения;

- учет данных о текущем уровне знаний, умений и навыков при прохождении учебной программы для своевременной корректировки следующего этапа ИОТ осуществляется по результатам выполняемой интеллектуальными агентами оценки текущих параметров траектории, что позволяет сформировать зависимость достижения обучающимся необходимого для получения заданных компетенций уровня ЗУН в установленные образовательным стандартом сроки и на ее основе оперативно корректировать ИОТ для определения рациональной этапности обучения и необходимого времени.

2) Предложена оригинальная методика оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию для достижения заданного уровня ЗУН за регламентированное время с применением нейросетей глубокого обучения, отличающаяся от аналогичных методик Э.В. Мищенко, В.Д. Лиференко, Т. Wang, Р. Denny, М.А. Косоноговой тем, что:

- на основании зависимости результатов участников учебного процесса на индивидуальном и групповом уровнях от влияния деструктивных факторов и учета текущего уровня знаний, умений и навыков определяется оптимальный по критерию достижения заданного уровня ЗУН за оставшееся время следующий этап индивидуального учебного плана (далее – ИУП), который должен быть включен в ИОТ;

- индивидуальная образовательная траектория оперативно формируется и динамически корректируется с применением марковского процесса принятия решений, где функция полезности вычисляется НГО-агентами на индивидуальном уровне с последующим преобразованием на групповом уровне модели взаимодействия участников учебного процесса;

- НГО-агенты используют адаптированную частную модель построения контекста на основе двухсегментной базы знаний, компетентностный сегмент которой формируется с помощью генерации с дополненной выборкой на основе учебно-методических материалов.

Это позволяет путем применения методики получить оптимальный уровень ЗУН за регламентированное время путем перераспределения времени участников учебного процесса и оперативного реагирования на влияние деструктивных факторов.

3) По результатам реализации методики даны следующие рекомендации по созданию комплекса программ для исследования эффективности методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории:

- формировать индивидуальную образовательную траекторию с применением марковского процесса принятия решений, где функция полезности вычисляется НГО-агентами на индивидуальном уровне с последующим преобразованием на групповом уровне модели взаимодействия участников учебного процесса;
- использовать для НГО-агентов двухсегментную базу знаний, формируемую с помощью генерации с дополненной выборкой на основе учебно-методических материалов.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что разработанная модель взаимодействия участников учебного процесса предоставляет теоретический аппарат для динамического управления образовательной траекторией в реальном времени. Модель включает частные модели формирования индивидуальной образовательной траектории, распределения времени участников учебного процесса и построения контекста интеллектуального агента на основе базы знаний с применением алгоритма генерации с дополненной выборкой.

Предложена оригинальная методика формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию.

Разработанные модели и методика могут служить базой для постановки и решения более сложных задач в области адаптивного обучения, таких как оптимизация распределения ресурсов в ИЭОС, прогнозирование академической успеваемости.

Практическая значимость работы состоит в готовности методики оперативного формирования ИОТ к внедрению в современные электронные образовательные системы на основе данных в четвертой главе рекомендаций. Разработанный подход позволяет повысить эффективность обучения программированию за счет достижения целевых показателей ЗУН в регламентированные сроки.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составили фундаментальные работы российских и зарубежных ученых в области искусственного интеллекта, многокритериального принятия решений и моделирования

сложных систем. Исследование опиралось на системный подход, объединяющий методы математического моделирования, нейронные сети, многоагентные системы. Для формализации учебного процесса применялась теория графов, позволившая представить индивидуальный учебный план как ориентированный граф состояний. Обработка естественного языка осуществлялась с использованием методов глубокого обучения и алгоритма генерации с дополненной выборкой. Практическая реализация моделей и алгоритмов выполнена с применением объектно-ориентированного и функционального программирования.

Информационную базу исследования составили: учебно-методические материалы курсов по программированию, данные образовательных стандартов и профессиональных компетенций; результаты психолого-педагогических исследований факторов эффективности обучения; данные электронных систем обучения о времени прохождения этапов и академических результатах обучающихся; открытые базы знаний (например, DBPedia) и специализированные онтологии предметной области; научные публикации в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, материалы конференций.

Положения, выносимые на защиту:

1) модель взаимодействия участников учебного процесса для оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории, отличающаяся от известных моделей комплексированием двухуровневой зависимости ИОТ от текущих оценок показателей восприятия и действующих деструктивных факторов и нейросетей глубокого обучения, используемых при формировании ИОТ (С. 56-102);

2) методика оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию для достижения заданного уровня ЗУН за регламентированное время с применением нейросетей глубокого обучения, отличающаяся от известных методик тем, что на основании зависимости результатов участников учебного процесса на индивидуальном и групповом уровнях от действия деструктивных факторов с учетом текущего уровня ЗУН интеллектуальные агенты динамически корректируют ИОТ с применением двухсегментной базы знаний, которая формируется с помощью генерации с дополненной выборкой на основе учебно-методических материалов (С. 103-137);

3) практические рекомендации по реализации комплекса программ для внедрения предложенной методики в интеллектуальные электронные образовательные системы,

включая архитектурные решения и методы интеграции, обеспечивающие возможность оперативного формирования и корректировки индивидуальных образовательных траекторий в реальном времени (С. 160-176).

Степень достоверности, апробация и внедрение результатов исследования.

Достоверность положений исследования подтверждается их апробацией в установленном порядке, применением качественных и количественных методов оценки методов оценки рассматриваемых проблем, изучением научных публикаций отечественных и зарубежных авторов по тематике исследования.

Основные положения и результаты исследования апробированы на следующих научных конференциях: на Международной научно-практической конференции «Моделирование современных информационных систем в условиях цифровой трансформации» (Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 13-14 апреля 2023 г.); на Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепции инновационного математического образования» (Москва, Финансовый университет 21 июня 2023 г.); на XVI Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2023) (Москва, ИПУ РАН, 26–28 сентября 2023 г.); на Всероссийской научно-методической конференции с международным участием «Инновационные технологии обучения в вузе в условиях цифровизации и реформирования высшего образования» (г. Улан-Удэ, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 14-16 февраля 2024 г.); на Национальной научно-практической конференции «Образование и наука» (г. Улан-Удэ, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 8-12 апреля 2024 г.); на Всероссийской научно-методической конференции с международным участием «Трансформация профессионального образования и инновационная деятельность: содержание, технологии, качество» (г. Улан-Удэ, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 19-21 февраля 2025 г.); на Национальной научно-практической конференции «Образование и наука» (г. Улан-Удэ, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 7-11 апреля 2025 г.); на XVIII Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2025) (Москва, ИПУ РАН, 24-26 сентября 2025 г.).

Получено свидетельство о регистрации подготовленной по результатам исследования программы для ЭВМ Программный модуль «Многоагентная система обучения программированию на основе больших языковых моделей» (свидетельство о регистрации Роспатента № RU 2025610558 от 13.01.2025; автор: Тимофеев А.Н.; правообладатель: ООО «СибДиджитал»).

Разработанные в диссертации модель и методика были использованы при обучении сотрудников компании ООО «Розенблатт» с применением ПЭВМ «Многоагентная система обучения программированию на основе больших языковых моделей». Применение указанной ПЭВМ позволило повысить эффективность обучения на 15%.

Материалы диссертации используются в практической деятельности факультета компьютерных наук и технологий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», в части разработанной методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию, исходя из соблюдения заданного уровня знаний, умений и навыков и сроков обучения. По материалам исследования внедрена разработанная в диссертации модель взаимодействия участников учебного процесса для оперативного формирования ИОТ, ожидаемый эффект от внедрения которой заключается в уменьшении трудозатрат преподавателей на 10%, что существенно повысит эффективность обучения. Используются описанные в исследовании частная модель формирования индивидуальной образовательной траектории, частная модель распределения времени участников учебного процесса и частная модель построения контекста интеллектуального агента на основе базы знаний с применением алгоритма генерации с дополненной выборкой.

Материалы диссертации используются в практической деятельности ООО «СибДиджитал». С использованием разработанной в диссертации методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию проведено обучение сотрудников. Эффект от использования методики выразился в ускорении обучения на 12% в связи с уменьшением трудозатрат на контактную работу и снижением действия деструктивных факторов. Для снижения действия деструктивных факторов корпоративная база знаний была использована как компетентностный сегмент базы знаний интеллектуальных агентов,

входящей в базовые компоненты модели взаимодействия участников учебного процесса и используемой в частной модели построения контекста интеллектуального агента на основе базы знаний с применением алгоритма генерации с дополненной выборкой.

Результаты исследования используются Кафедрой радиотехнического вооружения ФГКВОУ ВО «Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны имени Маршала Советского Союза Л.А. Говорова», в частности: модель взаимодействия участников учебного процесса для формирования индивидуальной образовательной траектории при обучению программированию в индивидуальной образовательной среде; методика оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию. Полученные результаты исследования апробирования и использованы при организации проведения практики «Научно-исследовательская работа» с курсантами 4, 5 курсов.

Апробация и внедрение результатов исследования подтверждены соответствующими документами.

Публикации. Основные положения и результаты исследования отражены в 7 публикациях общим объемом 6,25 п.л. (авторский объем – 3,785 п.л.), в том числе 5 работ общим объемом 5,11 п.л. (авторский объем – 2,995 п.л.) опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России, а также 2 работы общим объемом 1,14 п.л. (авторский объем – 0,79 п.л.) опубликованы в изданиях, индексируемых в международной цитатно-аналитической базе «Scopus».

Структура и объем диссертации определены целью и задачами исследования. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, состоящего из 137 наименований и 8 приложений. Текст диссертации изложен на 253 страницах, содержит 23 таблицы, 39 рисунков, 112 формул.

II Основное содержание работы

Во **Введении** раскрывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, аргументирована научная новизна, сформулирована теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе** диссертации проанализированы российские и зарубежные исследования в области адаптивного обучения, многоагентных систем, больших языковых моделей (далее – БЯМ) и марковских процессов принятия решений.

Обозначены недостатки существующих систем, в частности отсутствие комплексных решений, обеспечивающих динамическую корректировку ИОТ с учетом реального времени, текущего уровня ЗУН и влияния деструктивных факторов.

По результатам анализа сформирована общая научная задача разработки элементов научно-методического аппарата (модели и методики), обеспечивающих достижение обучающимся требуемого уровня знаний, умений и навыков в установленные образовательным стандартом сроки.

Взаимодействие участников учебного процесса, направленное на достижение заданного уровня знаний, умений и навыков R курса в установленные сроки с соблюдением предусмотренных образовательным стандартом требований с учетом недетерминированности характеристик освоения программы обучающимся, может быть описано формулой (1)

$$R = f(T), R^{\min} \leq R \leq R^{\max}, T^{\min} \leq T \leq T^{\max}, \quad (1)$$

где R – фактическая оценка уровня ЗУН в баллах при электронном обучении программированию;

R^{\min} – удовлетворительная оценка уровня ЗУН в баллах согласно образовательной программе курса;

R^{\max} – максимальная оценка уровня ЗУН в баллах согласно образовательной программе курса;

T – фактическое время (в часах) изучения курса;

T^{\max} – максимально допустимое время изучения курса (в часах), включающее регламентированное время изучения курса согласно образовательной программе дисциплины и время, затраченное преподавателем на работу по курсу;

T^{\min} – минимальное время (в часах) изучения курса, может быть оценено как время контактной работы $t^{\text{Конт}}$.

Задача достижения заданного уровня ЗУН может быть сформулирована как нахождение оптимального варианта ИЭОС $optimum(B)$, где B – интеллектуальная электронная образовательная система, описываемая следующей формулой (2)

$$optimum(B) = \langle A^S, A^L, C \rangle, \quad (2)$$

где A^S – множество обучающихся;

A^L – множество преподавателей;

C – множество изучаемых курсов.

Нахождение $optimum(B)$ должно обеспечивать выполнение критерия оптимальности, описываемого формулой (3)

$$(R < R^{min} \wedge T^{max} - T \leq \varepsilon) \vee (R^{min} < R \leq R^{max} \wedge T^{max} - T > \varepsilon), \quad (3)$$

где ε – порог риска, то есть количество часов, после которого достижение заданного уровня ЗУН за регламентированное время считается невозможным.

Во **второй главе** разработана модель взаимодействия участников учебного процесса для формирования индивидуальной образовательной траектории при обучении программированию в интеллектуальной электронной образовательной системе.

Базовые компоненты, отражающие объекты и множества, которые используются во всех частных моделях и методике оперативного формирования ИОТ, в формальном виде могут быть описаны следующей шестеркой (4)

$$\langle A, c, Pl, Tr, Kb, \Phi \rangle, \quad (4)$$

где A – множество участников учебного процесса;

c – выбранный для прохождения курс;

$c \in C$; Pl – индивидуальный учебный план;

Tr – индивидуальная образовательная траектория;

Kb – база знаний интеллектуальных агентов;

Φ – множество деструктивных факторов.

Базовый компонент «Множество участников учебного процесса». Множество участников учебного процесса A описывается следующей формулой (5)

$$A = \{a_1^L\} \cup \{a_1^S\} \cup A^J \cup \{a_0^M\} \cup A^{LL}, \quad (5)$$

где $a_1^L \in A^L$ – преподаватель;

$a_1^S \in A^S$ – обучающийся;

A^J – множество агентов-верификаторов;

a_0^M – агент-модератор, обрабатывающий и маршрутизирующий все естественно-языковые сообщения, которыми обмениваются агенты;

A^{LL} – множество агентов, являющихся большими языковыми моделями.

Каждый агент a_i^L описывается следующей формулой (6)

$$a_i^L = \langle \pi, mdl, ctx \rangle, \quad (6)$$

где π – стратегия агента;

$model$ – НГО, на которой основан агент;

ctx – контекст, под которым в настоящей работе понимается совокупность ситуационных данных, предоставляемых агенту в рамках входного запроса, требующихся для точной интерпретации намерений пользователя, генерации релевантных ответов и поддержания связности диалога.

Базовый компонент «Выбранный для прохождения курс». Выбранный для прохождения курс $c \in C$ описывается следующим кортежем (7)

$$\langle R^{min}, R^{max}, T^{max}, T^{min}, Q, E, K \rangle, \quad (7)$$

где R^{min} – удовлетворительная оценка уровня ЗУН в баллах;

R^{max} – максимальная оценка уровня ЗУН в баллах;

T^{max} – максимально допустимое время изучения курса (в часах);

T^{min} – минимальное время (в часах);

Q – множество тем, содержащихся в выбранном курсе c ;

E – множество учебно-методических материалов курса c ;

K – множество оценочных средств курса c .

Каждый учебно-методический материал e_i описывается следующей формулой (8)

$$e_i = \langle q_k, data \rangle, \quad (8)$$

где q_k – тема, к которой относится данный учебно-методический материал e_i ;

$data$ – текстовая или графическая информация учебно-методического материала;

K – множество оценочных средств курса c . Каждый элемент множества описывается следующей формулой (9)

$$k_i = \langle q_k, data, type \rangle, \quad (9)$$

где q_k – тема, к которой относится оценочное средство k_i ;
 $data$ – содержание оценочного материала, например список вопросов или задач;
 $type$ – тип оценочного средства. Выделяются три типа оценочных средств:
 $type_1$ – тестовое задание, $type_2$ – задание на составление программы, $type_3$ – опрос.

Базовый компонент «Индивидуальный учебный план» Исследования, проведенные в диссертации, позволили описать ИУП Pl как связный ориентированный граф, описываемый формулой (10)

$$Pl = \langle Vpl, Epl \rangle, \quad (10)$$

где Vpl – множество вершин графа Pl ;
 Epl – множество ребер графа Pl .

Каждая вершина графа Pl каждая вершина является этапом ИУП и описывается следующей формулой (11)

$$pl_i = \langle E', rtr^{min}, rtr^{max}, t_e^{регл} \rangle, \quad (11)$$

где $E' \subseteq E_c$ – учебно-методические материалы курса c , изучаемые на данном этапе ИУП;
 rtr^{min} – удовлетворительная оценка уровня ЗУН в баллах для данного этапа ИУП;
 rtr^{max} – максимальная оценка уровня ЗУН для данного этапа ИУП;
 $t_e^{регл}$ – заданное время на прохождение i -го этапа ИУП, которое описывается как кортеж (12)

$$t_e^{регл} = \langle t_e^{Конт}, t_e^{CPC}, t_e^D, t_e^{CPI} \rangle, \quad (12)$$

где $t_e^{Конт}$ – время контактной работы обучающегося и преподавателя;
 t_e^{CPC} – время самостоятельной работы обучающегося;
 t_e^D – время реагирования на деструктивные факторы и случайные воздействия;
 t_e^{CPI} – время самостоятельной работы преподавателя.

Epl – множество ребер графа Pl , в котором каждое ребро является переходом от одного этапа ИУП к другому и описывается следующим кортежем (13)

$$epl_k = \langle pl_i, pl_j, R^{пер}, p \rangle, \quad (13)$$

где pl_i – этап ИУП, являющийся начальной вершиной дуги;

pl_j – этап ИУП, являющийся конечной вершиной дуги;

$R^{пер}$ – интервал значений балльной шкалы, соответствующей данному ребру;

p – вероятность перехода по данному ребру.

Представление ИУП в виде графа $Pl = \langle Vpl, Epl \rangle$ обеспечивает возможность построения ИОТ путем нахождения кратчайшего пути на ориентированном графе.

Базовый компонент «Индивидуальная образовательная траектория». Задачей компонента является формализация индивидуальной образовательной траектории как пути на ориентированном графе Pl . Путем на ориентированном графе называется маршрут с различными вершинами, что позволяет описать ИОТ Tr формулой (14)

$$Tr = \{tr_1, tr_2, \dots, tr_m\}, tr_i = \langle pl_k, A^d, D, r_{ij}, t^{Факт} \rangle, \quad (14)$$

где tr_i – этап ИОТ;

pl_k – этап ИУП;

A^d – множество агентов, задействованных в прохождении этапа, в том числе агент-обучающийся a_j^{HS} ;

D – множество диалогов (взаимодействий), формируемое агентами при прохождении ИОТ tr_i ;

r_{ij} – полученный за прохождение этапа балл;

$t^{Факт}$ – фактически затраченное время на прохождение i -го этапа ИУП, которое описывается формулой (15)

$$t^{Факт} = \langle t_{Факт}^{Конт}, t_{Факт}^{СРС}, t_{Факт}^D, t_{Факт}^{СРП} \rangle, \quad (15)$$

где $t_{Факт}^{Конт}$ – фактическое время контактной работы обучающегося и преподавателя;

$t_{Факт}^{СРС}$ – фактическое время самостоятельной работы обучающегося;

$t_{Факт}^D$ – фактическое время, затрачиваемое на реагирование деструктивных факторов и случайных воздействий;

$t_{\text{Факт}}^{\text{СРП}}$ – фактическое время самостоятельной работы преподавателя.

Базовый компонент «База знаний интеллектуальных агентов». База знаний Kb состоит из тематического сегмента Kb^A и сегмента общего назначения Kb^O .

Kb^A – тематический сегмент базы знаний, содержащий знания в сфере обучения программированию. Тематический сегмент базы знаний формируется на основе учебно-методических материалов E_c курса с.

Kb^O – сегмент базы знаний общего назначения. В качестве сегмента базы знаний общего назначения использована открытая база знаний DBPedia.

База знаний обеспечивает минимизацию ошибок обучающегося и ошибок оценки путем построения контекстов ctx интеллектуальных агентов a_i^l для оптимизации стратегии агентов. Таким образом, база знаний становится источником для формирования контекста интеллектуальных агентов, необходимого для применения нейро-нечеткого подхода к формированию ИОТ Tr из ИУП Pl , для достижения заданного уровня ЗУН R за регламентированное время T с учетом деструктивных факторов.

Базовый компонент «Множество деструктивных факторов». Φ – множество деструктивных факторов состоит из подмножеств Φ_s – деструктивных факторов, влияющих на обучающегося, и Φ_l – деструктивных факторов, влияющих на преподавателя.

Взаимодействие участников учебного процесса описано с применением так называемого агентного подхода, при котором участники учебного процесса образуют два уровня иерархической модели:

- 1) Индивидуальный уровень (преподаватель, обучающийся).
- 2) Групповой уровень (взаимодействующие преподаватель и обучающийся).

Индивидуальный уровень. Индивидуальный уровень модели включает функции $rs(tr_i, a^s, \Phi_s)$ и $rl(tr_i, a^l, \Phi_l)$.

Функция $rs(tr_i, a^s, \Phi_s)$ описывает зависимость результата на i -м этапе индивидуальной образовательной траектории от действий обучающегося. На вход функции подаются данные, собранные при взаимодействии обучающегося, преподавателя и интеллектуальных агентов. Функция выполняет преобразование этих данных путем обращения к агенту-верификатору a^l . Агент-верификатор формирует вектор из 4 выходных концептуальных текстовых выражений, что можно формализовать следующей функцией (16)

$$rs(tr_i, a^s, \Phi_s) \rightarrow [u_1, u_2, u_3, u_4], \quad (16)$$

где tr_i – i -й этап ИОТ;

a^s – обучающийся;

Φ_s – множество деструктивных факторов, действующих на обучающегося;

u_1 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, превышает ли $t_{\text{Факт}}^{\text{СРС}}$ заданное в ИУП для данного этапа pl_k значение $t_e^{\text{СРС}}$;

u_2 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, превышает ли $t_{\text{Факт}}^{\text{Конт}}$ заданное в ИУП для данного этапа pl_k значение $t_e^{\text{Конт}}$;

u_3 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, как агент-верификатор a^{J} оценивает все диалоги D на этапе tr_i с учетом возможных выставленных баллов dr ;

u_4 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, какие деструктивные факторы, относящиеся к Φ_s , повлияли на прохождение этапа tr_i .

Функция $rl(tr_i, a^l, \Phi_l)$ описывает зависимость результата на i -м этапе индивидуальной образовательной траектории от действий преподавателя. На вход функции подаются данные, собранные при взаимодействии обучающегося, преподавателя и интеллектуальных агентов. Функция выполняет преобразование этих данных путем обращения к агенту-верификатору a^{J} . Агент-верификатор формирует вектор из 4 выходных концептуальных текстовых выражений, что можно описать формулой (17)

$$rl(tr_i, a^l, \Phi_l) \rightarrow [u_5, u_6, u_7, u_8], \quad (17)$$

где tr_i – i -й этап ИОТ;

a^l – преподаватель;

Φ_l – множество деструктивных факторов, действующих на преподавателя;

u_5 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, превышает ли $t_{\text{Факт}}^{\text{СРП}}$ заданное в ИУП для данного этапа pl_k значение $t_e^{\text{СРП}}$;

u_6 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, превышает ли $t_{\text{Факт}}^{\text{Конт}}$ заданное в ИУП для данного этапа pl_k значение $t_e^{\text{Конт}}$;

u_7 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, как агент-верификатор a^J оценивает все диалоги D на этапе tr_i ;

u_8 – выходное концептуальное текстовое выражение, являющееся ответом на вопрос, какие деструктивные факторы, относящиеся к Φ_l , повлияли на прохождение этапа tr_i .

Групповой уровень. Групповой уровень модели описывается формулой (18)

$$rtr(tr_i, A) = rtr(tr_{i-1}, A) + ctrle(rs(tr_i, a^s, \Phi_s), \sum rl(tr_i, a^l, \Phi_l)), \quad (18)$$

где tr_i – i -й этап ИОТ;

A – множество участников учебного процесса ($a^s \in A, a^l \in A$);

$rtr(tr_{i-1}, A)$ – значение функции на предыдущем этапе ИОТ;

$ctrle(rs(tr_i, a^s, \Phi_s), \sum rl(tr_i, a^l, \Phi_l))$ – функция, которая получает вектора концептуальных текстовых выражений переменных на вход, передает их агенту-верификатору для выдачи оценки в баллах в от 1 до rtr^{max} , то есть максимального уровня оценки для данного этапа.

В третьей главе предложена методика оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию для достижения заданного уровня ЗУН за регламентированное время с применением нейросетей глубокого обучения.

Исходные данные для разработки методики формирования ИОТ задаются на основе комплексирования параметров ИЭОС $B = \langle A^S, A^L, C \rangle$ и базовых компонентов модели взаимодействия участников учебного процесса $M^A = \langle A, c, Pl, Tr, Kb, \Phi \rangle$. Это позволяет представить методику оперативного формирования ИОТ в виде функции (19)

$$mtd(A, c, Pl, Kb, \Phi) \rightarrow Tr|optimum(B). \quad (19)$$

Согласно частной модели формирования ИОТ методика mtd может быть представлена как марковский процесс принятия решений, а именно как достижение цели через взаимодействие и последовательное принятие решений. Основными действиями этой методики являются:

- 1) формирование параметров ИУП;

- 2) формирование ИОТ;
- 3) оценка текущих параметров ИОТ;
- 4) корректировка ИОТ;
- 5) завершение.

«Формирование параметров ИУП». В начале данного действия осуществляется наполнение множества A . После определения состава агентов из множества курсов C должен быть выбран курс для прохождения c . Выбор курса c позволяет задать $R^{min}, R^{max}, T^{max}, T^{min}$, необходимые для применения критерия оптимальности.

При составлении курса c вносятся все вершины V_{pl} графа Pl с указанием всех параметров вершины и ребра E_{pl} . При этом вероятность p перехода по ребру для каждого ребра e_{pl_k} рассчитывается исходя из истории прохождения обучающимся a_1^S курсов в ИЭОС.

База знаний Kb формируется из двух сегментов. Первым сегментом Kb^0 является сегмент общего назначения, созданный на основе открытой базы знаний DBPedia. Вторым сегментом является тематический сегмент Kb^A , который формируется на основе учебно-методических материалов E курса c .

Множество деструктивных факторов Φ инициализируется как объединение двух подмножеств: Φ_s – деструктивные факторы, влияющие на обучающегося, и Φ_l – деструктивные факторы, влияющие на преподавателя.

«Формирование ИОТ». Согласно частной модели формирования ИОТ траектория Tr является путем на графе Pl , ребра которого терминах марковского процесса принятия решений являются переходом вида $(pl_i, act) \rightarrow pl_j$, описывающем зависимость выбора следующего шага от текущего времени и уровня ЗУН. Переход по ребрам осуществляется с применением функции (20)

$$R(pl_i, act, pl_j) = rtr(tr_i, A) + E[rtr(pl_j, A)] + fw(pl_j, \epsilon), \quad (20)$$

где $rtr(tr_i, A)$ – фактическая оценка, полученная за пройденный этап ИОТ tr_i ;
 $E[rtr(pl_j, A)]$ – математическое ожидание оценки на следующем этапе ИУП pl_j , включаемом в ИОТ;

$fw(pl_j, \epsilon)$ – функция корректировки ожидаемой полезности с учетом суммарного времени, затраченного на прохождение ИОТ и порога риска ϵ – количества часов, после которого достижение заданного уровня ЗУН за регламентированное время

считается невозможным. Добавление функции $fw(pl_j, \varepsilon)$ в расчет функции полезности обусловлено необходимостью учета, введенного в п. 1.4 критерия оптимальности.

Определение того, к какому этапу ИУП будет осуществлен переход зависит от коэффициента дисконтирования γ . Если $\sum R(pl_i, act, pl_j) < R^{min}$, то значение коэффициента принимается равным 0,9, иначе значение принимается равным 0,1.

Действия агента описываются стратегией выбора π , которая заключается в максимизации ценности состояния и описывается формулой (21)

$$V(\pi, tr_i) = \max^{act} \sum_{pl_j} P(pl_j | pl_i, act) [R(pl_i, act, pl_j) + \gamma V(\pi, pl_j)]. \quad (21)$$

При этом функция полезности $R(pl_i, act, pl_j)$ зависит от функции группового уровня $rtr(tr_i, A)$ и функции корректировки $fw(pl_j, \varepsilon)$. Для определения порога риска воспользуемся уравнением (22)

$$T^{max} - T^{ост} = T^{max} - \sum_{i+1}^N t_e^{регл}, t_e^{регл} \in Pl^*, \quad (22)$$

где Pl^* — непройденная часть ИУП.

Для определения $\sum_{i+1}^N t_e^{регл}, t_e^{регл} \in Pl^*$ применим алгоритм Левита, который позволяет найти кратчайшее расстояние между вершинами графа. Выразим $T^{ост}$ через применение этого алгоритма к подграфу Pl^* с использованием формулы (23)

$$T^{ост} = \min^{Lv} (\sum_{i+1}^N t_e^{регл}), t_e^{регл} \in Pl^*. \quad (23)$$

Найденный при вычислении функции $fw(pl_j, \varepsilon)$ кратчайший путь является оптимальным по времени, но не учитывает достижение требуемого уровня освоения. Для расчета ценности этапа pl_j с учетом непройденных этапов ИУП может быть использован метод обратного прохода, выражаемый формулой (24)

$$V(pl_j) = \sum_{act} \pi(act | pl_j) \sum_{pl_i} P(pl_j | pl_i, act) [R(pl_i, act, pl_j) + \gamma V(\pi, pl_j)]. \quad (24)$$

Таким образом, выбор оптимальной стратегии заключается в следующем правиле: если разность фактического времени прохождения и регламентированного времени близка к порогу риска ε , то участники учебного процесса стремятся к достижению

обучающимся минимально удовлетворительного уровня ЗУН R^{min} , в противном случае они стремятся к достижению максимального уровня ЗУН R^{max} .

«Оценка текущих параметров ИОТ». Оценка достижения заданного уровня освоения дисциплин заключается в соблюдении неравенства $R^{min} \leq R \leq R^{max}$.

Результат функции *ctrl* сравнивается со значениями заданного уровня освоения на этапе ИОТ $tr_i : R_e^{min}$. Оценка соблюдения установленных сроков заключается в соблюдении неравенства $T \leq T^{регл}$. Для этого на каждом этапе ИОТ tr_i производится подсчет времени (в часах) на прохождение обучающимся i -го этапа ИОТ T_i и T_i^l времени (в часах), затраченного преподавателем на прохождение обучающимся i -го этапа ИОТ.

«Корректировка ИОТ» Корректировка ИОТ описывается следующим алгоритмом:

1) Для прохождения d_j текущего этапа ИОТ tr_i на сообщении me_k агентом-модератором a_0^M определена необходимость в оценке текущего уровня освоения.

2) Агент-модератор a_0^M передает диалог одному из агентов-верификаторов $a_i^J \in A^J$. Агент-верификатор вычисляет текущий уровень ЗУН с помощью функции $rtr(tr_i, A)$.

3) Если текущий уровень ЗУН $r_{dj} > R_e^{min}$, то выполняется переход к шагу оценки времени. В противном случае прохождение d_j продолжается.

4) Если текущее время прохождения $t_{dj} < t_e^{min}$, то происходит переход к шагу построения углубленного сценария, в противном случае – переход к шагу построения выравнивающего сценария.

5) Углубленный сценарий формируется в условиях, когда $r_{dj} > R_e^{min} \wedge t_{dj} < t_e^{min}$, то есть конкретный студент легко справляется с выполнением рабочей программы, поэтому на нем выбирается такой следующий этап траектории tr_{i+1} , в котором содержится базовый или углубленный уровень учебно-методических материалов e_j^C , что обуславливает формирование углубленного контекста агента-преподавателя a_r^{ll} .

6) Выравнивающий сценарий формируется в условиях, когда $r_{dj} \geq R_e^{min} \wedge t_{dj} \geq t_e^{min}$, то есть конкретный студент с трудом справляется с выполнением рабочей программы, поэтому на нем выбирается следующий этап траектории tr_{i+1} , в котором содержится базовый или упрощенный уровень

учебно-методических материалов e_j^C , что обуславливает формирование упрощенного контекста агента-преподавателя a_r^{II} .

7) Происходит переход к этапу ИОТ tr_{i+1} .

После прохождения курса анализируется отличие фактической ИОТ от ИУП как в части проверки параметров на этапах tr_i , так в части выбора альтернативных сценариев прохождения. На основании результатов анализа плановая ИОТ может быть скорректирована.

В **четвертой главе** для подтверждения эффективности, предложенной в методики оперативного формирования ИОТ при электронном обучении программированию, был проведен вычислительный эксперимент, состоящий из двух этапов:

1) проверка эффективности методики оперативного формирования ИОТ при электронном обучении программированию;

2) проверка эффективности применения частной модели построения контекста интеллектуального агента на основе базы знаний с применением алгоритма генерации с дополненной выборкой.

Для проведения эксперимента был выбран курс «Структуры и алгоритмы обработки данных», который читается студентам направления «Прикладная информатика» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. В рамках эксперимента сформированы две независимые группы по 30 студентов.

На каждом этапе первая группа студентов работала только с преподавателем, вторая группа студентов – с преподавателем и интеллектуальными агентами, предусмотренными методикой оперативного формирования ИОТ при электронном обучении программированию.

Цель эксперимента заключалась в проверке эффективности методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории при электронном обучении программированию.

При проверке эффективности методики оперативного формирования ИОТ при электронном обучении программированию были получены следующие результаты: при сохранении среднего времени самостоятельной работы студентов (58,55 часов) и уровне сформированности ЗУН, сопоставимом с первой группой, время контактной работы с преподавателем сократилось на 34,2%. При этом суммарное контактное время

преподавателя и агента уменьшилось на 7,8%, а доля взаимодействия с агентом составила 28,6%. Таким образом фактическое время прохождения ИОТ $t^{\text{Факт}}$ уменьшается за счет уменьшения $t^{\text{Конт}}_{\text{Факт}}$, что позволяет утверждать о достижении введенного выше показателя эффективности.

При проверке эффективности применения частной модели построения контекста интеллектуального агента на основе базы знаний с применением алгоритма генерации с дополненной выборкой получены результаты, показывающие, что в среднем применение НГО позволило сократить время выполнения задач от 10 до 28,5%.

Разработанная методика может использоваться при создании перспективных ИЭОС, существенно сокращая время прохождения ИУП, что позволяет достигнуть более высокого уровня ЗУН без дополнительных затрат.

На основе модели взаимодействия участников учебного процесса и предложенной в третьей главе методики оперативного формирования ИОТ при электронном обучении программированию разработана архитектура введенного формулой (2) оптимального варианта ИЭОС $optimum(B)$, позволяющая достигнуть заданного уровня ЗУН за регламентированное время.

Архитектура ИЭОС $optimum(B)$, может быть использована для создания новых или модернизации существующих комплексов программ, реализующих принципы электронного адаптивного обучения, в том числе обучения программированию. Архитектура включает такие модули, как «Ведение агентов», «Ведение учебно-методических материалов», «Обучение», «Контроль результатов», «Преобразование учебно-методических материалов в граф знаний», «Ведение диалогов», «Выбор языковой модели», «Хранение языковой модели», «Построение контекста», специализированная и открытая базы знаний.

По результатам программной реализации методики сформированы рекомендации по созданию комплекса программ для исследования эффективности методики оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории, которые целесообразно использовать при разработке перспективных интеллектуальных электронных образовательных систем и модернизации существующих.

III Заключение

В результате исследования разработаны модель и методика оперативного формирования индивидуальной образовательной траектории, обеспечивающей

достижение заданного уровня знаний, умений и навыков за регламентированное время при электронном обучении программированию.

Разработаны практические рекомендации по созданию комплекса проблемно-ориентированных программ для оперативной корректировки индивидуальной образовательной траектории с учетом соблюдения заданного уровня знаний, умений и навыков и сроков обучения.

Модель и методика могут служить базой для постановки и решения более сложных задач в области адаптивного обучения, таких как оптимизация распределения ресурсов в ИЭОС, прогнозирование академической успеваемости.

Практическая значимость работы состоит в готовности методики оперативного формирования ИОТ к внедрению в современные электронные образовательные системы на основе разработанных рекомендаций.

IV Список работ, опубликованных по теме диссертации

*Публикации в рецензируемых научных изданиях,
определенных ВАК при Минобрнауки России:*

1. Тимофеев, А.Н. Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 1) / А.Н. Тимофеев, И.С. Евдокимова, Н.Б. Хаптахеева, А.А. Сенотрусова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2022. – № 12. – С. 85-91. – ISSN 2223-2966.

2. Тимофеев, А.Н. Семантическое моделирование: обзор процессов, инструментов, методов и знаний предметной области разработки программного обеспечения (Часть 2) / А.Н. Тимофеев, И.С. Евдокимова, Н.Б. Хаптахеева // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2023. – № 4-2. – С. 122-129. – ISSN 2223-2966.

3. Тимофеев, А.Н. Разработка модели компетенций в сфере информационных технологий на основе интеграции онтологий и баз знаний / А.Н. Тимофеев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2023. – № 6-2. – С. 153-159. – ISSN 2223-2966.

4. Тимофеев, А.Н. Разработка подхода к повышению качества генерации программного кода большими языковыми моделями / А.Н. Тимофеев, С.С. Михайлова //

Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2024. – № 4. Том 26. – С. 18-26. – ISSN 1999-8554.

5. Тимофеев, А.Н. Модель взаимодействия участников учебного процесса для формирования индивидуальной образовательной траектории с учетом деструктивных факторов / А.Н. Тимофеев, А.А. Главинская // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». – 2025. – № 9. – С. 105-114. – ISSN 2223-2966.

Публикации в международной цитатно-аналитической базе Scopus:

6. Тимофеев, А.Н. Development of a competence model in the field of information technology using ontologies and knowledge bases = Разработка модели компетенций в сфере информационных технологий на основе интеграции онтологий и баз знаний / A.N. Timofeev // 2023 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). – Vienna : IEEE, 2023. – ISBN 979-8-3503-3790-7 – Текст : электронный. – DOI 10.1109/MLSD58227.2023.10303922. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10303922/> (дата обращения: 24.11.2025).

7. Тимофеев, А.Н. A Method Based on Large Language Models for Prompt Adjustment of an Individual Curriculum During E-Practice in large-scale network companies = Методика оперативной корректировки индивидуального учебного плана при проведении электронной практики на основе больших языковых моделей / S.S. Mikhailova, A.N. Timofeev, A.V. Timoshenko, A.S. Zakharov // 2025 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). – Vienna : IEEE, 2025. – eISSN 2832-0514 – Текст : электронный. – DOI 10.1109/SYNCHROINFO65403.2025.11079329. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11079329> (дата обращения: 24.11.2025).

Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ:

8. Тимофеев, А.Н. Многоагентная система обучения программированию на основе больших языковых моделей / А.Н. Тимофеев // Программы для ЭВМ. Свидетельство о регистрации Роспатента № 2025610558 (13.01.2025).