

Научная статья

УДК 378.147:73.01

DOI: 10.15293/1812-9463.2304.05

## **Дидактическая модель проектного обучения школьников технологиям искусственного интеллекта**

**Чикова Ольга Анатольевна**

*Новосибирский государственный педагогический университет,  
г. Новосибирск, Россия*

**Каменев Роман Владимирович**

*Новосибирский государственный педагогический университет,  
г. Новосибирск, Россия*

**Гаар Надежда Петровна**

*Новосибирский государственный педагогический университет,  
г. Новосибирск, Россия*

**Сартаков Игорь Витальевич**

*Новосибирский государственный педагогический университет,  
г. Новосибирск, Россия*

*Аннотация.* Отечественные исследования в области теории и методики обучения школьников технологиям искусственного интеллекта в недостаточной степени уделяют внимание проектному обучению как подходу продуктивной дидактики. Основой предлагаемой модели является концепция научно-методического сопровождения педагогических работников в процессе взаимодействия педагогического вуза и базовых школ, реализуемого посредством специализированного центра, функционирующего как элемент Единой федеральной системы научно-методического сопровождения педагогических работников и управленческих кадров. В данной концептуальной и ориентированной на практику образования статье предлагается дидактическая модель проектного обучения школьников технологиям искусственного интеллекта и рассматривается метод оценивания образовательных результатов как достижение продуктивной компетентности. Опираясь на компаративный анализ зарубежной научно-методической литературы, предлагается дидактическая структурная модель проектного обучения, включающая семь компонентов: (1) формулирование ожидаемых результатов обучения, (2) понимание концепции учебных материалов, (3) отработка навыков, (4) разработка темы проекта, (5) внесение проектного предложения, (6) выполнение задач проекта, (7) представление отчета о проекте.

*Ключевые слова:* технологии искусственного интеллекта, продуктивная дидактика, проектное обучение, дидактическая модель, продуктивная компетентность.

*Для цитирования:* Чикова О. А., Каменев Р. В., Гаар Н. П., Сартаков И. В. Дидактическая модель проектного обучения школьников технологиям искусственного интеллекта // Вестник педагогических инноваций. 2023. № 4 (72). С. 59–76. DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2304.05>



*Финансирование.* Исследование выполнено в рамках проекта «Совершенствование модели взаимодействия педагогических вузов с базовыми школами и организации их методического сопровождения (на базе центра научно-методического сопровождения педагогических работников)», который реализуется при финансовой поддержке Министерства просвещения Российской Федерации в рамках государственного задания № 073-03-2023-027 от 27.01.2023.

Original article

## **Didactic Model of Project-based teaching of Artificial Intelligence Technologies to Schoolchildren**

**Olga A. Chikova**

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

**Roman V. Kamenev**

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

**Nadezhda P. Gaar**

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

**Igor V. Sartakov**

*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

*Abstract.* Domestic research in the field of theory and methodology of teaching artificial intelligence technologies to schoolchildren does not pay sufficient attention to project-based learning as an approach of productive didactics. The basis of the proposed model is the concept of scientific and methodological support for teaching staff in the process of interaction between a pedagogical university and basic schools, implemented through a specialized center that functions as an element of the Unified Federal System of Scientific and Methodological Support for teaching staff and management personnel. Based on a comparative analysis of foreign scientific and methodological literature, a didactic structural model of project-based learning is proposed, which includes seven components: (1) formulating expected learning outcomes, (2) understanding the concept of training materials, (3) developing skills, (4) developing a project topic, (5) submitting a project proposal, (6) completing project objectives, (7) submitting a project report.

*Keywords:* artificial intelligence technologies, productive didactics, project training, didactic model, productive competence.

*For Citation:* Chikova O. A., Kamenev R. V., Gaar N. P., Sartakov I. V. Didactic Model of Project-based teaching of Artificial Intelligence Technologies to Schoolchildren. *Journal of Pedagogical Innovations*, 2023, no. 4 (72), pp. 59–76. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2304.05>

*Funding.* The study was carried out within the framework of the project “Improving the model of interaction between pedagogical universities and basic schools and organizing their methodological support (based on the center for scientific and methodological support of teaching staff)”, which is implemented with the financial support of the Ministry of Education of the Russian Federation within the framework of state task no. 073-03-2023-027 from 27.01.2023.



Искусственный интеллект (ИИ, artificial intelligence, AI) – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами деятельности человека. К методам и алгоритмам искусственного интеллекта относятся искусственная нейронная сеть, неточная логика, экспертная логика, эволюционная логика, логика для анализа данных. 10 октября 2019 г. В. В. Путин своим указом утвердил национальную стратегию развития искусственного интеллекта в России до 2030 г. 27 августа 2020 г. был утвержден федеральный проект «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Новосибирский государственный педагогический университет активно участвует в реализации федерального проекта «Искусственный интеллект» в плане внедрения сквозных цифровых технологий в сферу образования [1]. В статье Р. В. Каменева, А. Б. Классова, В. В. Крашенинникова представлен анализ возможных направлений использования искусственного интеллекта в образовании, связанных с разработкой моделей представления знаний, созданием баз знаний, образующих ядро экспертной системы. «Обращается внимание на то, что интеллектуальная обучающая система должна быть способна выполнять различные функции преподавателя (помогать в процессе решения задач, определять причину ошибок студентов, выбирать оптимальное учебное воздействие) почти так же разумно, как это делает человек. Уделено внимание и такому направлению, как использование интеллектуальных чат-ботов или разговорных агентов и их приложений» [2]. С 2022 г. в НГПУ реализуется образовательная программа магистратуры 44.04.04 Профессиональное

обучение (по отраслям) направленности Технология искусственного интеллекта. Программа направлена на подготовку высококвалифицированных кадров для системы образования, ориентированных на достижение компетенций, связанных с искусственным интеллектом. Обучение ведется в соответствии с концепцией особого вида проектного обучения, основанного на продуктах product-based pedagogy (PBP): студенты приобретают практический опыт по разработке и руководству разнообразными видами проектов по искусственному интеллекту по таким разделам, как анализ данных, машинное обучение, компьютерное зрение, обработка естественного языка; проектная работа занимает пятую часть всего учебного процесса [3]. Институт физико-математического, информационного и технологического образования НГПУ имеет богатый опыт проектного обучения школьников и студентов по предметам, связанным с искусственным интеллектом [4]. В лабораториях Технопарка НГПУ студенты и школьники создают проекты, которые побеждают на международных и региональных конкурсах научно-технологических проектов и внедряются в жизнь. Например, в 2021 г. из 22 проектов-победителей второго конкурса творческих проектов для учащихся и студентов программы Intel® AI for Youth «Технологии искусственного интеллекта для каждого» девять подготовлены представителями НГПУ. Участниками конкурса было представлено более 50 проектов в области анализа данных, компьютерного зрения, обработки естественного языка, этики искусственного интеллекта. Победителями конкурса среди студентов НГПУ стали следующие проекты. 1-е место – проект «Мобильное приложение BusNumberApp: озвучивание номеров автобусов для слабовидящих», авторы – И. Гончаров, П. Гордиенко, М. Казачанская. Прило-



жение помогает слабовидящим узнать номер подходящего автобуса, троллейбуса, трамвая или маршрутного такси. Для определения номера автобуса в изображении с камеры телефона и его распознавания применяется компьютерное зрение, а номер озвучивается с помощью голосового синтезатора. 2-е место занял проект «Применение компьютерного зрения под управлением Raspberry Pi» студента НППУ Н. Кураева. Основная идея проекта заключается в свободном изучении машинного зрения в образовательных условиях. Проект реализован на базе самых доступных комплектующих и программного обеспечения, использует технологии Raspberry Pi 3b, Intel RealSense, библиотеку OpenCV. Это позволяет применять его в любых образовательных учреждениях – от школ до вузов. В качестве одного из вариантов реализации технологии компьютерного зрения создана система с использованием языка программирования Python и библиотеки OpenCV. Для функционирования системы распознавания можно использовать разные камеры, например Raspberry Cam или Intel RealSense.

В 2022 г. школьные команды из Новосибирской области приняли участие в хакатоне от «Яндекс.Учебника» и команды голосового ассистента «Алиса». Целью мероприятия стало вовлечение школьников в процесс создания новых навыков для Алисы и увеличение количества действующих навыков в каталоге ассистента. Мероприятие проводилось в три этапа: на первом и втором прошли вебинары, где участники познакомились с основами разработки навыков Алисы. Школьники под руководством наставников работали над проектом, эксперты давали обратную связь. Третий этап представлял собой финальную работу над проектом и его защиту. За каждой командой был закреплен наставник – учитель информатики, прошедший спе-

циальное обучение. Команды пробовали себя в качестве разработчиков: создавали сценарии проекта, устраивали мозговую штурм и самостоятельно работали на платформе Aimylogic. Победителем хакатона стала команда новосибирской гимназии № 2, которую консультировал доцент НППУ Б. А. Шрайнер; второе место заняла команда учащихся школы № 75 г. Новосибирска под руководством магистранта НППУ А. Соловьёва.

В 2023 г. призерами пятого регионального трека всероссийского конкурса научно-технологических проектов «Большие вызовы» стали проекты, которые создали школьники в лабораториях Технопарка НППУ. Один из проектов называется «Портал» – это имя школьного голосового помощника, разработанного восьмиклассником Второй Новосибирской гимназии А. Матовым. Другой проект, созданный ученицей Инженерного лицея О. Демидович, – программа, которая позволяет управлять презентацией при помощи жестов; чтобы воспользоваться программой, достаточно веб-камеры, направленной на докладчика. Научный руководитель разработок – доцент НППУ Б. А. Шрайнер. В настоящее время любой школьник может обратиться в Технопарк универсальных педагогических компетенций НППУ, рассказать о своих идеях и попробовать начать работу над проектом.

Внедрение технологий искусственного интеллекта в сферу образования предполагает выстраивание взаимодействия педагогического вуза с базовыми школами, что имеет особую значимость для развития региональной системы образования. Разработана модель взаимодействия педагогического вуза с базовыми школами для обеспечения научно-методического сопровождения педагогических работников и создания единого образовательного пространства региона [5].



Реализация проектного обучения в большей части осуществляется через линию взаимодействия «Сопровождение учебной и научно-исследовательской деятельности учащихся и студентов», которая «реализуется через выявление и сопровождение одаренных детей и подростков, поддержку талантливой молодежи, руководство научно-исследовательской деятельностью обучающихся, совместную образовательную деятельность, создание образовательных и исследовательских проектов» [6].

Общие вопросы теории и методики проектного обучения в отечественной психодидактике системно и полно представлены в работах Н. В. Матяш (Симоненко) с соавторами [7]. Описана организация проектной деятельности обучающихся в рамках реализации предметной области «Технология» по направлениям профессий цифровой экономики [8]. И. И. Чернобровкина указывает, что метод проектов – наиболее эффективный подход к организации обучения школьников технологиям искусственного интеллекта [9]. Рассматриваются особенности выбора темы индивидуальных итоговых проектов обучающихся, связанных с искусственным интеллектом [4]. Представлен опыт проектного дополнительного обучения школьников использованию нейронных сетей в решении практико-ориентированных задач [10]. Указано на преимущества и особенности проектов учащихся в технологическом образовании в формате чат-бота [11].

В настоящее время отечественной педагогикой фактически не разработана дидактика проектного обучения школьников технологиям искусственного интеллекта, практически отсутствуют качественные и эффективные инструменты оценивания образовательных результатов проектной деятельности.

На основе опыта Новосибирского государственного педагогического уни-

верситета и базовых школ, полученного в результате взаимодействия по четырем линиям (поддержание и развитие профессиональных компетенций педагогических работников; сопровождение учебной и научно-исследовательской деятельности учащихся и студентов; научно-методическое сопровождение деятельности базовых школ; вхождение в педагогическую профессию) [6], в соответствии с запросом школы была усовершенствована и апробирована дидактическая модель проектного обучения школьников основам ИИ.

Теоретической и методологической основой дидактической модели проектного обучения школьников технологиям ИИ является интеграция нескольких научных подходов: системного, интегративного и компетентностного. Все это обеспечило проработки основных аспектов проблемы и поставленных задач, позволило выявить новые закономерности проектного обучения школьников ИИ и параметры качества его результата. С целью выявления основных тенденций развития понятия «проектная деятельность» в контексте product-based pedagogy (PBP), подходов к построению дидактических моделей PBP-обучения школьников технологиям ИИ применялись методы теоретико-методологического анализа (сравнительный, ретроспективный, модельный), компаративистский анализ психолого-педагогической литературы, методы систематизации имеющегося у авторов статьи опыта по проектному обучению. Дидактическая модель проектного обучения старшеклассников технологиям ИИ включала следующие отдельные компоненты: методологический, процессуальный и диагностический, единство которых обеспечивает проектирование педагогического процесса развития продуктивной компетенции в соответствии с предложенной системой индикаторов ее достижения [12].



На первом этапе исследования определен методологический компонент дидактической модели проектного обучения старшекласников технологиям ИИ, который включал ключевые стратегии и структурную модель проектного обучения школьников технологиям ИИ. Ключевые стратегии проектного обучения школьников технологиям ИИ подразумевали получение следующих субъективно выбранных систематических знаний по разделам: (1) программирование, (2) обработка данных, (3) алгоритмы, (4) продвинутое практическое обучение. Ключевые стратегии обучения ИИ на разных этапах (начальная школа, средняя школа, высшая школа) представлены в таблице 1 [13]. Требование субъективности обосновано тем, что «...с возрастанием показателей освоенности проектной деятельности происходят изменения в системе оценок субъективной значимости. Проектная деятельность ведет к активизации по-

знавательной мотивации и интеллектуальной инициативы всех школьников вне зависимости от их успеваемости. Эффективность обучения зависит от самого ученика, его индивидуального опыта, перехода внешнезаданных учебных целей во внутренний план» [7]. Остаются актуальными «общие критерии отбора содержания проектной деятельности школьников: Общественно-исторической детерминации (отражение в содержании основных направлений развития современной науки и техники, связь с жизнью, политехническая направленность); Воспитательная направленность; Научность; Посильность; Внутрпредметные и межпредметные связи; Доступность; Соответствие возрастным нормам (учет сензитивных периодов, ведущей деятельности на каждом возрастном этапе, психологических новообразований возраста); Ориентация на “зону ближайшего развития”» [7, с. 103].

Таблица 1

**Ключевые стратегии обучения ИИ на разных этапах получения образования: начальная школа, средняя школа, высшая школа**

Начальная школа	Средняя школа	Колледж / Высшая школа
Начальное образование	Общее среднее образование	Профессиональное образование
Базовые знания, включенные в учебную программу	Субъективно выбранные систематические знания	Развитие талантов ИИ в профессии
Вычислительное мышление, практическое обучение, возбуждение познавательного интереса	Программирование, обработка данных, алгоритмы, продвинутое практическое обучение	Курсы / проекты / проектное обучение, компетенции / интернаттура / международный обмен, интернет вещей / компьютерное зрение и т. п., прецизионная медицина, умное производство

Определена структурная модель проектного обучения – 7Р, включающая семь компонентов: (1) формулирование ожидаемых результатов обучения, (2) достижение понимания концепции учебных материалов, (3) отработка навыков, (4) разработка темы проекта, (5) внесение проектного предложения,

(6) выполнение задач проекта, (7) представление отчета о проекте в рамках представлений продуктивной педагогики, product-based pedagogy (РВР). Цель обучения старшекласников технологиям искусственного интеллекта в концепции РВР – помочь понять особенности ИИ и методику применения технологий



ИИ в повседневной жизни. В определенном смысле технологии ИИ представляют собой новейшие информационные технологии. Учащиеся получают новые знания, используя технологии ИИ для создания продукта. С развитием общества усиливается тенденция интеграции образования, науки, технологий и экономики, что стимулирует спрос на специалистов с креативным и новаторским мышлением. Обучение технологи-

ям ИИ способствует появлению новых инновационных продуктов; интеграция ключевых технологий облегчает создание полной цепочки инноваций от идеи до применения. В соответствии с характеристиками обучения ИИ, а также когнитивными характеристиками старшеклассников, в этом исследовании предлагается модель 7Р в обучении ИИ, в которой РВР делится на три этапа, как показано на рисунке 1.

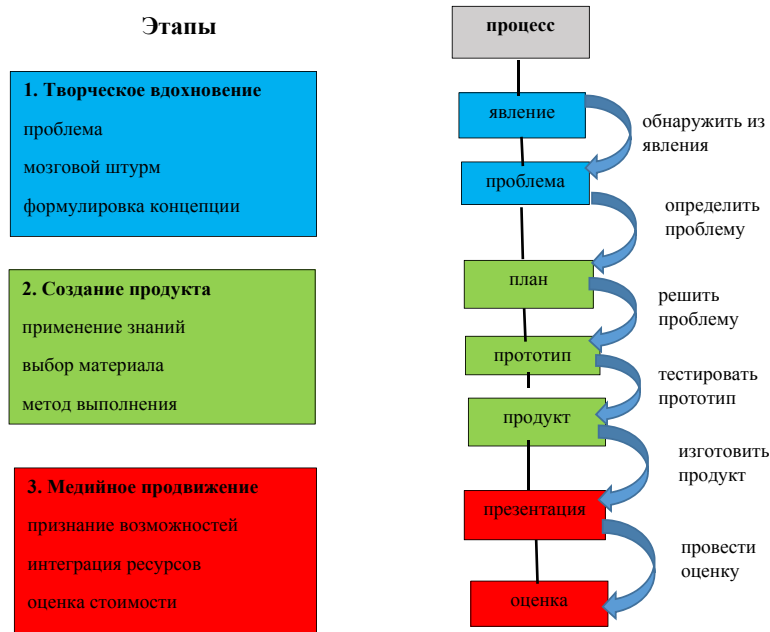


Рис. 1. Структурная модель проектного обучения школьников технологиям ИИ

Первый этап – творческое вдохновение (выбор явления и выявление проблемы). Школьники ориентируются в обнаружении проблем из явлений в конкретной проблемной ситуации, им должны быть представлены соответствующие примеры, которые включают не только стандартную схему выходных данных проекта, но и продукты, созданные предыдущими учениками. На примерах учащиеся могут прояснить разнообразные и сложные вопросы, которые необходимо изучить. Кроме того, учащиеся под руководством учителя

определяют тип проблемы, структуру и направление решения. Чтобы активировать идеи и творческие способности, учащимся необходимо вести переговоры в группе и решать проблему путем вопросов, воображения и расширения. Второй этап предназначен для создания продукта (план, прототип и создание продукта). На этом этапе творчество и инновационное мышление итеративно смешиваются. План, ориентированный на продукт, определяет, как каждая группа проясняет ситуационную проблему, проводит дальнейшие действия по

продвижению улучшения и превращает идею в творческий концептуальный прототип. На основе прототипа строятся звенья доработки и оптимизации, проводятся корректировки схемы и испытания продукта с обсуждением. Процесс оптимизации включает итеративную корректировку продуктовых решений, анализ полезности прототипов, возникающих в результате исследовательской деятельности, и своевременное выявление их осуществимости и эффективности. После тщательного тестирования и оптимизации формируется конечный продукт. Третий этап – продвижение проекта путем вербализации и визуализации результата (презентация и оценка). Благодаря интеграции ресурсов с разных точек зрения учащиеся понимают ценность продукта для рынка, общества и окружающей среды, чтобы они могли уникальным образом представить продукт группового проекта для продвижения бизнеса. Затем определяются правила рынка и учащиеся пытаются оценить продукт. В итоге изучение технологии и принципов искусственного интеллекта служит применению на практике. В результате создания проектов студенты получают больше знаний о бизнесе, а также учатся учитывать ценность и социальную значимость своих идей, что способствует развитию инновационного мышления и обучению предпринимательству.

Рассмотрим пример применения дидактической модели проектного обучения школьников технологиям ИИ (рис. 1). Будем работать с феноменом «Технологии искусственного интеллекта расширяют возможности комфортного пребывания в школе», когда учитель помогает учащимся выявлять различные проблемы, такие как неэффективное ручное измерение температуры у входа в школу или очередь у кассы в школьной столовой. С помощью обсуждений в группе

и стимулирования творческого подхода к решению этих проблем учителя помогают изучать технологии ИИ. Учащиеся могут экспериментировать с несколькими решениями одной и той же проблемы и договариваться о выборе решения. Например, проблема измерения температуры может быть решена путем использования технологии ИИ распознавания лиц в качестве основы и включения других современных технологий, таких как инфракрасное тепловидение. Посредством объединения решений группа стимулирует появление идей и творческий поиск в проектировании продукта, что затем приводит к определению окончательной темы проекта и разработке плана исследования, ориентированного на инновационное применение продукта. Учащиеся используют примеры продуктовых решений, чтобы оптимизировать свои идеи и предложения, разрабатывая концептуальный прототип инновационного решения по дизайну продукта. Практические исследования и анализ осуществимости идей приводят к итерации и пересмотру дизайна продукта, студенты могут проверить его осуществимость и эффективность и, наконец, создать прототип. Учителя организуют дискуссию, в которой школьники представляют свои предложения по продукту с точки зрения рыночных, социальных и экологических оценок, отражающих уникальность продукта. Основываясь на отзывах других групп школьников и учителя, учащиеся оценивают свой продукт с учетом рыночных правил и представляют спецификацию цены продукта. Конкретный педагогический процесс проектного обучения ИИ в контексте product-based pedagogy (PBP) заключается в том, что учитель объясняет, как использовать различные технологии ИИ, и проводит пошаговые демонстрации, позволяющие учащимся освоить соответствующие теорети-





ческие и технические операции путем имитации. Например, при обучении технологии распознавания лиц контрольная группа изучала принципы распознавания лиц в основном путем повторения процесса: учитель сначала объяснял основной компонент композиции, а затем учащимся предлагалось импортировать фотографии для машинного распознавания и повторять шаги, демонстрируемые учителем для получения опыта, и понять технологию распознавания лиц [12].

На втором этапе исследования определен процессуальный компонент ди-

дактической модели проектного обучения старшекласников технологиям ИИ, на основе представлений о паттернах учебного поведения школьников в проектном обучении технологиям ИИ.

Учебное поведение и рабочие действия школьников в проектном обучении технологиям ИИ могут быть описаны с помощью паттернов поведения – привычных способов действовать в определенных ситуациях. Паттерны поведения школьников при проектном обучении технологиям ИИ представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Паттерны поведения школьников при проектном обучении технологиям ИИ**

Код	Значение	Примеры
TH	Обучение у учителя	Слушаете, как учитель рассказывает о проекте
PP	Обсуждение с одноклассниками	Обсуждаете с одноклассником содержание проекта (но не просите о помощи). Учите одноклассника, что делать
AT	Обращение к учителю за помощью	Задаете вопрос учителю напрямую
AP	Обращение к одноклассникам за помощью	Спрашиваете у одноклассника, что делать на следующем этапе работы над проектом
P	Индивидуальная работа	Находите некоторую информацию в виде текстовых файлов на ноутбуке. Пишите программный код. Собираете устройство
TE	Проверка и выполнение	Тестируете программу. Выполняете сборку устройства по инструкции
PO	Выражение личного мнения	Говорите о том, что он/она наблюдает или чувствует во время практической деятельности
N	Неуместное поведение	Общайтесь с одноклассниками на отвлеченные темы. Смотрите на ноутбуке то, что не имеет ничего общего с работой над проектом
S	Настройка модели	Устанавливаете метки модели. Настраиваете некоторые параметры модели
TD	Сбор обучающих данных	Фотографируете карты для обучения робота
AM	Анализ обучающей модели	Наблюдаете за результатами распознавания обучающей модели. Сравните фотографии тестовых данных
SR	Моделирование результата выполнения	Используйте жесты, вербально или язык тела, чтобы имитировать маршрут робота перед его перемещением
O	Наблюдение за ситуацией без реальных действий	Наблюдаете за движением робота другой проектной команды
F	Корректирование или исправление операции	Разбираете робота после обнаружения неправильной сборки

Пример построения диаграммы паттернов поведения школьника при проектном обучении приведен на рисунке 2 [13], представляющим перенос поведения школьника, в котором присутствуют четыре модели обучения: первая модель  $P \leftrightarrow PO$ , вторая модель  $AT \leftrightarrow PP$ , третья модель  $AM \rightarrow AP$  и модель  $S \leftrightarrow TD$ . Во-первых, переход  $P \leftrightarrow PO$  показывает, что у школьника были некоторые личные мнения во время практических занятий и он имел тенденцию высказывать их

другим. Во втором паттерне  $AT \leftrightarrow PP$  оказывали влияние друг на друга, поскольку школьник обычно задавал вопросы учителю при обсуждении курса с одноклассниками, что может помочь ему быстро решить свои проблемы во время обсуждения. Что касается паттерна  $AM \rightarrow AP$ , то у него могут возникнуть проблемы с анализом результатов обучения модели, поскольку он обычно обращается за помощью к одноклассникам ( $AM \rightarrow AP$ ).

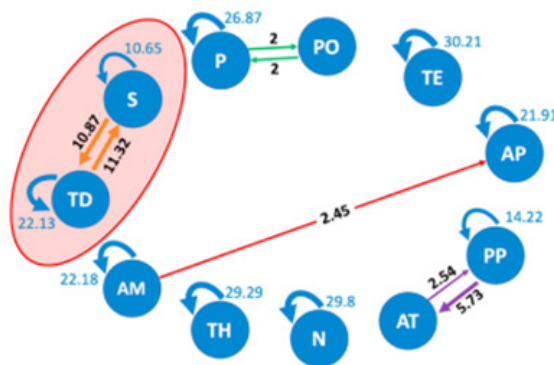


Рис. 2. Диаграмма паттернов поведения школьника при проектном обучении (пример)

Примечание. Направление стрелки отражает причинно-следственную связь между паттернами; число рядом со стрелкой описывает значимость (повторяемость) паттерна, связи между паттернами [13].

Н. В. Матяш в структуре проектной деятельности школьников выделяет учебные ситуации, которые могут быть ассоциированы с паттернами поведения школьников при проектном обучении технологиям ИИ (таблица 2): «В рамках учебных ситуаций (задач) школьники усваивают общие способы усвоения знаний – выделения свойств объектов, решения классов задач. Постановка перед школьником учебной задачи требует от него ориентации на общий способ ее разрешения в различных вариантах частных и конкретных условий. Выполнение учебных ситуаций требует таких учебных действий, как преобразование конкретных условий для выделения всеобщего отношения рассматриваемой

системы, моделирование выделенного отношения в предметной, графической, знаковой форме, последующая работа с моделью для изучения свойств моделируемого отношения. <...> Система предметных учебных проектно-технологических ситуаций по созданию материальных продуктов на уроках технологии включает следующие учебные ситуации (задачи):

1. Определение цели деятельности.
2. Определение возможных и ограничивающих условий, необходимых для решения задач.
3. Определение возможных средств достижения целей и задач деятельности.
4. А. Выбор образца изделия в соответствии с замыслом и Б. Создание образца продукта деятельности.

5. Планирование деятельности.

6. Определение свойств и подбор материалов для создания продукта деятельности.

7. Подбор инструментов и приспособлений для создания продукта деятельности.

8. Организация рабочего места.

9. Выполнение деятельности по получению продукта с запланированными качествами

10. Контроль процесса и продукта деятельности» [14].

И. А. Афонин, Н. В. Матяш, М. В. Хохлова [15] анализируют специфику коммуникаций школьников при проектном обучении – «направленность и значимость линий сотрудничества». На основе анализа оценки значимости линий сотрудничества, выделенных в учебно-проектной деятельности старших подростков в условиях профильного обучения, исследователи делают следующие выводы: «Наиболее значимой является линия “ученик – ученик-одноклассник” (диады и триады). Второе место занимает линия “учитель – ученик (ученики)”. На третьем месте стоят линии: “ученик – ученик (старший школьник)” и “ученик – родители школьников”. Четвертое место эксперты отдали линии “учитель – учительский коллектив”. Пятое место – линии “учитель – родители школьников”. Шестое место, по мнению экспертов, занимает линия “ученик (учитель) – с самим собой”» [15, с. 106].

На третьем этапе исследования предложен диагностический компонент дидактической модели проектного обучения старшеклассников технологиям ИИ, который включает метод оценивания образовательного результата школьника по уровню достижения продуктивной компетентности.

Суть педагогической модели проектного обучения заключается в том, что учитель или инструктор помогает учаемому работать индивидуально или в группе, чтобы выяснить, как решили реальную проблему изучаемого проекта. Оценка, проводимая учителем во время учебной деятельности и оценивающая каждый этап (шаг) в модели проектного обучения проводится с целью измерения уровня достижения компетентности учащихся и для обсуждения и планирования следующего этапа (шага). Оценивание при проектном обучении носит фундаментальный характер, необходимый для содействия обучению и, в конечном счете, учебным достижениям. В качестве критерия оценивания при проектном обучении рассматривается уровень достижения продуктивной компетентности. Продуктивная компетентность предполагает, что человек эффективен и способен добиваться желаемых результатов. Продуктивная компетентность особенно фокусируется на способности человека постоянно развивать свои профессиональные знания и навыки. М. В. Загвоздкиной и О. В. Мишуненковой формирование продуктивной компетентности рассматривается «как педагогическая проблема организации образовательного процесса, ориентированного на результаты обучения и реализацию дидактического принципа связи теории с практикой» [16, с. 111]. Продуктивная компетентность определяется как способность, которая может быть использована для производства продукта (детали, программного средства и т. п.). Продуктивная компетентность, необходимая для проектного обучения, может быть описана в виде системы индикаторов достижения продуктивной компетентности [17] (табл. 3.).



**Индикаторы достижения продуктивной компетентности**

Индикатор	Субиндикатор
1. Способность идентифицировать реальные проблемы и их решение	1.1. Способность идентифицировать реальную проблему, имеющую отношение к изучаемой области знаний. 1.2. Способность формулировать решения, устраняющие реальную проблему. 1.3. Возможность разработать концепцию и спецификацию компонента, инструменты или машины, которые выступают объектом проекта
2. Составление плана работы над проектом	2.1. Возможность внесения предложения по плану работы над проектом. 2.2. Уровень функциональности и преимущества проектируемых инструмента или машины. 2.3. Обзор литературы и принципы работы разрабатываемых устройства или машины. 2.4. Возможность сделать шоп-чертеж. 2.5. Возможность составления оценок индикатора материалов в соответствии с рабочими чертежами и проектными заданиями, что удалит. 2.6. Возможность сделать смету машины, необходимой для проекта. 2.7. Возможность составления сметы этапов выполнения проекта
3. Выполнение задач проекта	3.1. Возможность подготовить необходимые материалы, инструменты и машины. 3.2. Умение пользоваться инструментами и машинами, соответствующими СОП. 3.3. Умение управлять этапом работы в соответствии с систематикой работы. 3.4. Возможность управлять временем проекта в соответствии с согласованным временем. 3.5. Способность сотрудничать в командной работе. 3.6. Отношение к работе, которое проявляется до тех пор, пока продолжается проект
4. Составление отчета по проекту	4.1. Умение систематизировать данные для отчета по проекту. 4.2. Возможность выбора языка общения. 4.3. Полнота и достоверность содержания отчета

Альтернативой предмету оценивания образовательного результата школьника в проектном обучении может служить проектная компетентность. Проектная компетентность – это интегративная характеристика субъекта, выражающаяся в способности и готовности человека к самостоятельной теоретической и практической деятельности по разработке и реализации проектов в различных сферах [18]. Н. В. Матяш предлагает психодиагностическую модель оценки проектной компетентности,

представляет тестовые материалы, позволяющие оценить уровень развития проектной компетентности по факторам «целеустремленность», «гностичность», «освоенность проектной деятельности», «самоконтроль» и определить степень сформированности проектной компетентности обучаемых на этапах выполнения проектной деятельности (исследовательском, технологическом, заключительном) [14].

На основе компаративистского анализа научно-методических исследова-



ний отечественных и зарубежных ученых разработана дидактическая модель проектного обучения школьников основам ИИ в контексте подходов *product-based pedagogy* (PBP). Дидактическая модель проектного обучения старшеклассников технологиям ИИ включала следующие отдельные компоненты: методологический, процессуальный и диагностический, единство которых обеспечивает проектирование педагогического процесса развития продуктивной компетенции в соответствии с предложенной системой индикаторов ее достижения. Методологический компонент модели включал ключевые стратегии и структурную модель проектного обучения школьников технологиям ИИ. Ключевые стратегии проектного обучения школьников технологиям ИИ подразумевали получение следующих субъективно выбранных знаний по разделам: программирование, обработка данных, алгоритмы и продвинутое практическое обучение. Требование субъективности обосновано тем, что проектная деятельность ведет к активизации познавательной мотивации и интеллектуальной инициативы, индивидуального опыта школьников. Структурная модель проектного обучения школьников технологиям ИИ – известная модель проектного обучения 7P, включающая семь компонентов: (1) формулирование ожидаемых результатов обучения, (2) достижение понимания концепции учебных материалов, (3) отработка навыков, (4) разработка темы проекта, (5) внесение проектного предложения, (6) выполнение задач проекта, (7) представление отчета о проекте [12].

Процессуальный компонент дидактической модели проектного обучения старшеклассников технологиям ИИ построен на основе представлений о паттернах учебного поведения школьников в проектном обучении технологиям

ИИ [13]. Паттерны поведения школьников при проектном обучении технологиям ИИ и методика построения диаграммы паттернов поведения школьника при проектном обучении концептуально согласуются с системой предметных учебных проектно-технологических ситуаций по созданию материальных продуктов на уроках технологии [14].

Диагностический компонент дидактической модели проектного обучения старшеклассников технологиям ИИ представлен методом оценивания образовательного результата школьника в проектном обучении технологиям ИИ по уровню достижения продуктивной компетентности, который представлен в виде системы индикаторов достижения продуктивной компетентности [17]. Выбранная методика оценивания образовательного результата школьника в проектном обучении технологиям ИИ не противоречит принятой в отечественной психодидактике психодиагностической модели оценки проектной компетентности, которая представляет собой тестовые материалы, позволяющие оценить уровень развития проектной компетентности по факторам «целеустремленность», «гностичность», «освоенность проектной деятельности», «самоконтроль» и определить степень сформированности проектной компетентности обучаемых на этапах выполнения проектной деятельности [14].

Функция научно-методического центра сопровождения педагогических работников – поддержка линий взаимодействия вуза с базовыми школами. Линия «Сопровождение учебной и научно-исследовательской деятельности учащихся и студентов», которая «реализуется через выявление и сопровождение одаренных детей и подростков, поддержку талантливой молодежи, руководство научно-исследовательской деятельностью обучающихся, совместную об-



разовательную деятельность, создание образовательных и исследовательских проектов» [6, с. 9], реализуется представленной дидактической моделью проектного обучения школьников основам ИИ в курсе информатики. Линия «Поддержание и развитие профессиональных компетенций педагогических работников», которая осуществляется «через сопровождение научно-исследовательской деятельности отдельных учителей [6, с. 9], реализуется как в процессуальном, так и диагностическом компонентах дидактической модели проектного обучения школьников основам ИИ в процессе преподавания информатики.

Показано, что вопрос включения проектного обучения технологиям ИИ в образовательные системы в России и за рубежом находится в стадии разработки и проектирования и основан на единых подходах. Выявлено, что сегодня ИИ чаще всего рассматривается как объект изучения. Результаты проведенного исследования позволили предложить подходы к обучению основам искусственного интеллекта в общеобразовательной школе, реализация которых дает возможность адаптировать содержание учебного материала к возрастным особенностям школьников, определить системообразующие знания и умения, а также повысить эффективность проектного обучения школьников. Определен субъективно-ориентированный

подход изучения технологий ИИ как ключевой стратегии проектного обучения школьников с упором на программирование, обработку данных, алгоритмы и продвинутое практическое обучение. Показано, что модель проектного обучения 7Р, включающая семь компонентов: (1) формулирование ожидаемых результатов обучения, (2) достижение понимания концепции учебных материалов, (3) отработка навыков, (4) разработка темы проекта, (5) внесение проектного предложения, (6) выполнение задач проекта, (7) представление отчета о проекте – является приемлемой для проектного обучения школьников технологиям ИИ. Модель 7Р представляет собой реальный пример интеграции подходов product-based pedagogy (PBP) в школьное обучение ИИ. В обучении школьников технологиям ИИ целью является не только овладение знаниями и навыками, но и развитие креативности, инновационного мышления и ориентация на достижение продуктивной компетентности. Хотя существуют некоторые разногласия по поводу применения и роли продуктов в процессе обучения, мы считаем, что акцент на продуктовой ориентации в PBP может помочь развить творческий потенциал учащихся и инновационное мышление, что может служить дидактической моделью, ориентированной на подготовку специалистов-производителей, нацеленных на предпринимательство.

### Список источников

1. Каменев Р. В., Ступина Е. Е., Ступин А. А., Классов А. Б., Сартаков И. В. Разработка модели повышения уровня владения сквозными цифровыми технологиями в условиях персонализации образовательных траекторий школьников // Сибирский педагогический журнал. – 2022. – № 1. – С. 19–32. DOI: <https://doi.org/10.15293/1813-4718.2201.02>
2. Каменев Р. В., Классов А. Б., Крашенинников В. В. Концепция использования искусственного интеллекта в дистанционном обучении // Вестник педагогических инноваций. – 2021. – № 4 (64). – С. 30–41. DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.03>
3. Шрайнер Б. А. Проектная деятельность студентов при изучении предмета «Технологии искусственного интеллекта» // Педагогический профессионализм в совре-



менном образовании (в условиях глобальной цифровизации): научные труды международной научно-практической конференции в рамках Международного форума участников Китайско-российского Союза высших педагогических учебных заведений / ред.-сост. Е. В. Андриенко, Л. П. Жуйкова. – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2022. – С. 354–358.

4. Шрайнер Б. А. Искусственный интеллект как тема индивидуального итогового проекта обучающегося основной школы // Технологическое образование: Состояние. Проблемы. Перспективы: материалы Всероссийской научно-практической конференции / ред.-сост. Р. В. Каменев, И. И. Некрасова. – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2021. – С. 164–169.

5. Барматина И. В., Варакута А. А., Марущак Е. Б. Модель взаимодействия педагогического вуза с базовыми школами в условиях вовлечения высшей школы в непрерывное развитие педагогических работников // Философия образования. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 212–227. DOI: <https://doi.org/10.15372/PHE20210410>

6. Барматина И. В., Варакута А. А., Кохан Н. В., Марущак Е. Б. Научно-методическое сопровождение педагогических работников в процессе взаимодействия педагогического вуза и базовых школ // Вестник педагогических инноваций. – 2021. – № 4. – С. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.01>

7. Матяш Н. В. Обучение школьников проектной деятельности в старшем школьном возрасте // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. – 2011. – № 1 (2). – С. 102–107.

8. Волчек М. Г., Каменев Р. В., Чупин Д. Ю., Никитина Е. Ю. Организация проектной деятельности обучающихся в рамках реализации предметной области «Технология» // Вестник педагогических инноваций. – 2021. – № 4. – С. 87–101. DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.09>

9. Чернобровкина И. И. Метод проектов как способ организации самостоятельной работы при преподавании дисциплин искусственного интеллекта // Новая наука: Современное состояние и пути развития. – 2016. – № 2-1. – С. 67–69.

10. Латышева Л. П., Олехов А. А., Скорнякова А. Ю., Черемных Е. Л., Мельникова Е. В., Лаптева Т. Д. Обучение школьников основам технологий искусственного интеллекта в условиях дополнительного образования // Информатика в школе. – 2023. – № 1 (180). – С. 32–41. DOI: <https://doi.org/10.32517/2221-1993-2023-22-1-32-41>

11. Шрайнер Б. А., Некрасова И. И. Чат-бот как основа проектов по искусственному интеллекту в технологическом образовании // Актуальные вопросы развития физико-математического и технологического образования: научные труды Всероссийской научно-практической конференции / ред.-сост. Р. В. Каменев, А. С. Верещагина, И. Н. Лукина. – Новосибирск: Изд-во НГПУ, 2023. – С. 64–67.

12. Zhan Z., Shen W., Lin W. Effect of product-based pedagogy on students' project management skills, learning achievement, creativity, and innovative thinking in a high-school artificial intelligence course // *Frontiers in Psychology*. – 2022. – Vol. 13. – Pp. 849–842. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.849842>

13. Hsu T.-C., Abelson H., Lao N., Tseng Y.-H., Lin Y.-T. Behavioral-Pattern Exploration and Development of An Instructional Tool for Young Children to Learn AI // *Computers and Education: Artificial Intelligence*. – 2021. – Vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100012>

14. Матяш Н. В., Хохлова М. В. Типология учебных ситуаций проектной деятельности школьников для уроков технологии по созданию материальных продуктов // Проблемы и перспективы технологического образования в России и за рубежом: материалы Международной научно-практической конференции / ред.-сост. Л. В. Козуб. – Ишим, 2019. – С. 160–162.

15. Афонин И. А., Матяш Н. В., Хохлова М. В. Линии сотрудничества лиценстов в учебно-проектной деятельности // Мир образования – образование в мире. – 2015. – № 1 (57). – С. 99–106.



16. Загвоздкина М. В., Мишуненкова О. В. Формирование продуктивной компетентности – педагогическая проблема подготовки кадров для индустрии туризма // Вестник РМАТ. – 2018. – № 1. – С. 111–116.
17. Fatkhurrohman M., Permata E., Ekawati R., Rizal S. Pengembangan perangkat pembelajaran teknik digital berbasis project based learning di jurusan pendidikan teknik elektro // Jurnal Pendidikan Vokasi. – 2017. – Vol. 7, Issue 1. – Pp. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.21831/jpv.v7i1.12547>
18. Щеглова Т. М. Содержание и структура проектной компетентности: опыт системы среднего профессионального образования // Профессиональное образование в России и за рубежом. – 2018. – № 2 (30). – С. 186–193.

### References

1. Kamenev R. V., Stupina E. E., Stupin A. A., Klassov A. B., Sartakov I. V. Development of a model for increasing the level of skilled digital technologies in the conditions of personalization of educational trajectories of pupils. *Siberian Pedagogical Journal*, 2022, no. 1, pp. 19–32. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15293/1813-4718.2201.02>
2. Kamenev R. V., Klassov A. B., Krashennnikov V. V. The concept of using artificial intelligence in distance learning. *Journal of Pedagogical Innovations*, 2021, no. 4, pp. 34–41. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.03>
3. Shreiner B. A. Project activities of students when studying the subject “Artificial Intelligence Technologies”. *Pedagogical professionalism in modern education (in the context of global digitalization): scientific proceedings of the international scientific and practical conference within the framework of the International Forum of Participants of the Chinese-Russian Union of Higher Pedagogical Institutions*. Ed. E. V. Andrienko, L. P. Zhuikova. Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk State Pedagogical University, 2022, pp. 354–358. (In Russian)
4. Shreiner B. A. Artificial intelligence as a topic for an individual final project of a primary school student. *Technological education: State. Problems. Prospects: materials of All-Russian scientific-practical conference*. Ed. R. V. Kamenev, I. I. Nekrasova. Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk State Pedagogical University, 2021, pp. 164–169. (In Russian)
5. Barmatina I. V., Varakuta A. A., Marushchak E. B. The model of interaction of a pedagogical university with basic schools in the context of involving higher education in the continuous development of pedagogical workers. *Philosophy of Education*, 2021, vol. 21, issue 4, pp. 212–227. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15372/PHE20210410>
6. Barmatina I. V., Varakuta A. A., Kokhan N. V., Marushchak E. B. Scientific and methodological support of pedagogical workers in the process of interaction of a pedagogical university and basic schools. *Journal of Pedagogical Innovations*, 2021, no. 4, pp. 5–19. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.01>
7. Matyash N. V. Teaching schoolchildren project activities at senior school age. *Yearbook of the Research Institute of Fundamental and Applied Research*, 2011, no. 1 (2), pp. 102–107. (In Russian)
8. Volchek M. G., Kamenev R. V., Chupin D. Yu., Nikitina E. Yu. Organization of the project activities of students in the framework of implementation of the subject area “Technology”. *Journal of Pedagogical Innovations*, 2021, no. 4, pp. 87–101. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.15293/1812-9463.2104.09>
9. Chernobrovkina I. I. The project method as a way to organize independent work when teaching artificial intelligence disciplines. *New science: Current state and ways of development*, 2016, no. 2-1, pp. 67–69. (In Russian)
10. Latysheva L. P., Olekhov A. A., Skornyakova A. Yu., Cheremnykh E. L., Melnikova E. V., Lapteva T. D. Teaching schoolchildren in the basics of artificial





intelligence technologies in conditions of additional education. *Computer science at school*, 2023, no. 1 (180), pp. 32–41. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.32517/2221-1993-2023-22-1-32-41>

11. Shreiner B. A., Nekrasova I. I. Chatbot as the basis of projects on artificial intelligence in technological education. *Current issues in the development of physics, mathematic and technology education: scientific proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Ed. R. V. Kamenev, A. S. Vereshchagina, I. N. Lukina. Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk State Pedagogical University, 2023, pp. 64–67. (In Russian)

12. Zhan Z., Shen W., Lin W. Effect of product-based pedagogy on students' project management skills, learning achievement, creativity, and innovative thinking in a high-school artificial intelligence course. *Frontiers in Psychology*, 2022, vol. 13, pp. 849–842. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.849842>

13. Hsu T.-C., Abelson H., Lao N., Tseng Y.-H., Lin Y.-T. Behavioral-Pattern Exploration and Development of An Instructional Tool for Young Children to Learn AI. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2021, vol. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100012>

14. Matyash N. V., Khokhlova M. V. Typology of educational situations of school children's project activities for technology lessons on the creation of material products. *Problems and prospects of technological education in Russia and abroad: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Ed. L. V. Kozub. Ishim, 2019, pp. 160–162. (In Russian)

15. Afonin I. A., Matyash N. V., Khokhlova M. V. Lines of cooperation between lyceum students in educational and project activities. *The world of education – education in the world*, 2015, no. 1 (57), pp. 99–106. (In Russian)

16. Zagvozdikina M. V., Mishunenkova O. V. The formation of productive competence is a pedagogical problem in training personnel for the tourism industry. *Bulletin of RMAI*, 2018, no. 1, pp. 111–116. (In Russian)

17. Fatkhurrokhman M., Permata E., Ekawati R., Rizal S. Pengembangan perangkat pembelajaran teknik digital berbasis project based learning di jurusan pendidikan teknik elektro. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 2017, vol. 7 (1), pp. 101–109. DOI: <https://doi.org/10.21831/jpv.v7i1.12547>

18. Shcheglova T. M. Content and structure of project competence: experience of the system of secondary vocational education. *Professional education in Russia and abroad*, 2018, no. 2 (30), pp. 186–193. (In Russian)

## Информация об авторах

**Чикова Ольга Анатольевна** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3347-9148>, [chik63@mail.ru](mailto:chik63@mail.ru)

**Каменев Роман Владимирович** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-9367-3997>, [romank54.55@gmail.com](mailto:romank54.55@gmail.com)

**Гаар Надежда Петровна** – кандидат технических наук, зав. лабораторией «Технологии искусственного интеллекта» Технопарка универсальных педагогических компетенций, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-8517-658X>, [lianelas@mail.ru](mailto:lianelas@mail.ru)

**Сартаков Игорь Витальевич** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационных систем и цифрового образования, Новосибирский государственный педагогический университет, г. Новосибирск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1406-9442>, [nsk@bk.ru](mailto:nsk@bk.ru)



### **Information about the Authors**

**Olga A. Chikova** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3347-9148>, [chik63@mail.ru](mailto:chik63@mail.ru)

**Roman V. Kamenev** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-9367-3997>, [romank54.55@gmail.com](mailto:romank54.55@gmail.com)

**Nadezhda P. Gaar** – Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory “Technologies of Artificial Intelligence” of the Technopark of Universal Pedagogical Competences, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-8517-658X>, [lianelas@mail.ru](mailto:lianelas@mail.ru)

**Igor V. Sartakov** – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Education, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1406-9442>, [nsk@bk.ru](mailto:nsk@bk.ru)

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи к публикации.

**Authors' contribution:** Authors have all made an equivalent contribution to preparing the article for publication.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflict of interest.**

Поступила: 03.09.2023, одобрена после рецензирования: 20.10.2023, принята к публикации: 02.11.2023.

Received: 03.09.2023; approved after peer review: 20.10.2023; accepted for publication: 02.11.2023.

