

УДК 378

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ОСНОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВУЗЕ

Е.А. Перминов (Екатеринбург, Россия)

В.А. Тестов (Вологда, Россия)

Е.М. Ганичева (Вологда, Россия)

Аннотация

Постановка проблемы. В современном вузовском образовании все большее значение придается преподаванию студентам разных направлений основ искусственного интеллекта. В появлении такой уникальной научной области, как искусственный интеллект, решающее значение имеет математика. В вузовском образовании возникает потребность знакомить студентов не только с технологиями искусственного интеллекта, но и с его математическими основами, к которым относится наряду с другими разделами и математическая статистика.

Цель статьи – обоснование необходимости внедрения в учебные программы вузов преподавания математических основ искусственного интеллекта, включая разделы дискретной математики, а также обоснование важной роли такого курса в обучении.

Методология и методы исследования. В исследовании использовались методы системного анализа, методология моделирования, трансдисциплинарный подход, методология развития искусственного интеллекта и его математических основ, а также культурологический подход.

Результаты исследования. В результате исследования выявлены структурные элементы содержания курса (модуля) «Математические основы искусственного интеллекта», концептуальные положения о разработке рекомендаций для содержания типовых учебных программ обучения такому курсу в вузах. В подготовке студентов необходимо опираться на положения о том, что математика едина и имеет внутреннюю логику курса математики. Обучение системам искусственного интеллекта важно осуществлять на основе тесной взаимосвязи дискретной и непрерывной математики. Указанный курс служит базой формирования общепрофессиональных компетенций в области искусственного интеллекта. Благодаря математическим основам ИИ реализуется идея моделирования процессов человеческого мышления с помощью компьютера.

Заключение. Методологическим ориентиром в разработке учебных программ для предлагаемого курса должен стать трансдисциплинарный подход. На основе изучения этого курса формируются особый общенаучный стиль мышления и новое целостное мировоззрение.

Ключевые слова: математическое моделирование, трансдисциплинарный подход, дискретная математика, математическая логика, теория алгоритмов, абстрактная алгебра.

Перминов Евгений Александрович – доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры математических и естественно-научных дисциплин, Уральский государственный педагогический университет (Екатеринбург); ORCID: 0000-0002-8807-2476; e-mail perminov_ea@mail.ru

Тестов Владимир Афанасьевич – доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры математики и информатики, Вологодский государственный университет; ORCID: 0000-0002-3573-574X; Researcher ID: A-5900-2016; Scopus ID: 57203921177; e-mail vladafan@inbox.ru

Ганичева Елена Михайловна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры математики и информатики, Вологодский государственный университет; ORCID: 0009-0003-3319-5078; e-mail emg-ca@mail.ru

Постановка проблемы. В современных условиях стремительного роста объема информации, бурного развития ИКТ все более актуальной становится проблема подготовки квалифицированных кадров в области информационных технологий (ИТ), особенно в области

искусственного интеллекта (ИИ). Поэтому в последнее десятилетие в вузах внедряются различные курсы по изучению ИИ, а российским Министерством образования и науки рекомендовано ввести на всех специальностях вузов курс (модуль) «Системы искусственного интеллекта».

В появлении такой уникальной научной области, какой является искусственный интеллект, решающее значение имеет математика. В вузовском образовании возникает потребность знакомить студентов не только с технологиями искусственного интеллекта, но и с его математическими основами. Причем необходимо учитывать, что системы ИИ основываются не только на методах математической статистики, но и на целом ряде других дискретных разделов математики. Эти разделы синтезируют новое, ранее разрозненное проблемное поле.

В настоящее время в силу исключительной обширности исследований в области ИИ возникло огромное количество различных определений ИИ, многие из которых очень расплывчаты. Академик И.А. Каляев отметил, то, «что сегодня называют ИИ (а это просто различные компьютерные программы, работающие в соответствии с запрограммированным человеком алгоритмом), никакого отношения к ИИ не имеет» [Каляев, 2019, с. 9]. Поэтому в отборе целей и содержания курса «Системы искусственного интеллекта» и его математических основ следует учитывать не столько ту или иную трактовку ИИ, сколько специфику того направления подготовки студентов, для которого будет предназначен этот курс. Конечно, имеются некоторые общие методологические основы этого курса, служащие важным ориентиром в отборе содержания этого курса с учетом специфики того или иного направления.

При нахождении таких методологических основ следует учесть, что в последние десятилетия в научных исследованиях и образовании лидирует трансдисциплинарный подход, являющийся более мощным, чем междисциплинарный, и порождающий универсальную методологию, способную решать сложные многофакторные проблемы природы и общества. В результате применения такого подхода наряду с искусственным интеллектом сформировались такие научные области, как общая теория систем, теория информации, кибернетика и др., которые отличает принципиальное игнорирование междисциплинарных границ. Все эти

концепции были разработаны на основе достижений математики. Появились и новые общенаучные категории, к которым можно отнести понятия модели, операции, отношения, алгоритма и целый ряд других.

Эти общие методологические основы особенно важны в преодолении негативных последствий поспешного внедрения в образование зачастую недостаточно качественных информационных технологий, в том числе и ИИ. В связи с этим отметим, что крупными методологами педагогики В.В. Краевским и А.В. Хуторским было высказано предупреждение о том, что «в пору увлечения педагогическими технологиями очень своевременно звучит напоминание об опасности, которую таит в себе забвение общей педагогической теории обучения – дидактики». О ней некогда думать в пору поисков «новых универсальных технологий, гарантирующих... лавры новатора без интеллектуальных затрат»¹. Это предупреждение в полной мере относится и к информационным технологиям в образовании.

В связи с доминированием понятия «технология обучения» и забвением понятия «методика обучения» в педагогической науке обнаружилась брешь. Даже при самом широком толковании термина «технология» это понятие значительно более узкое, чем «методика». Технология не занимается ни выявлением целей обучения, ни отбором содержания обучения, ни многими другими задачами, в отличие от методики. В результате во многих вузах наблюдается разрыв между фундаментализацией подготовки студентов и недостаточно продуманным массовым внедрением в нее новых информационных технологий.

Как известно, материнской наукой для информатики является математика. Поэтому в пору повсеместного увлечения информационными технологиями не следует забывать о важности понятий и методов математики в информатизации образования и особенно дискретной математики.

¹ Краевский В.В., Хуторской А.В. Основы обучения. Дидактика и методика. М.: Академия, 2007. 352 с.

К сожалению, «рекламный звон» вокруг новых информационных технологий – это чума программной индустрии. В вузах зачастую происходит процесс ускоренного внедрения некоторых ИТ, разработанных подчас далекими от математики и программирования специалистами, получающими лавры новаторов без серьезных педагогических исследований.

В организации некоего барьера перед псевдоноваторскими наскоками крайне необходима разработка рекомендаций, являющихся ориентиром для вузов в образовательной деятельности, что будет способствовать наведению порядка в хаосе информатизации образования, широко распространившемся в начале эпохи цифрового мира. В таких типовых рекомендациях для курса «Системы ИИ» должны быть отражены общие методологические основы, в частности критерии отбора содержания этого курса для того или иного направления подготовки. Эти основы, в том числе математические основы ИИ, должны стать методологическим ориентиром подготовки в области ИИ.

Недостаточное понимание роли математики в цифровизации науки и образования приводит к большим рискам, прежде всего в тех отраслях, в которых все больше реальных объектов управляется с помощью компьютерного и программного обеспечения (в том числе ИИ). Однако такое обеспечение зачастую несовершенно и уязвимо, особенно при дистанционном управлении. Поэтому проблемы, порожденные математической неграмотностью в управлении этим обеспечением, становятся буквально проблемами жизни и смерти [Whittlestone, et al., 2019]. Таким образом, является актуальной проблема исследования – внедрение в обучение в вузах курса (модуля) «Математические основы искусственного интеллекта».

Цель работы заключается в обосновании необходимости внедрения специального курса (или модуля) «Математические основы искусственного интеллекта» в вузах, а также его методологической роли. Важно также выявить и охарактеризовать структурные элементы

и дидактические положения отбора профильного содержания этого курса.

Обзор научной литературы. При исследовании роли рассматриваемого курса необходимо учитывать трансдисциплинарный тренд в науке и образовании [Frodeman et al., 2010; Тестов, Перминов, 2021; Kizito, 2017]. Преподавание соответствующих научных категорий должно происходить с учетом уровня образования студентов [Pohl et al., 2018].

Исследован ряд работ, отражающих разносторонность применения методов ИИ, анализа данных и машинного обучения [Alam et al., 2021; Yan et al., 2020]. Проведенный анализ показал, что, кроме математической статистики, математические основы ИИ образуют: язык абстрактной алгебры и математической логики; формальные языки и формальные системы; теория алгоритмов и автоматов; комбинаторный анализ; теория нечетких множеств [Bushmeleva, Baklashova, 2017; Соколов, 2019; Liu et al., 2018; Marenich, 2024].

Методология и методы исследования. В статье использовано несколько методологических подходов к анализу роли курса «Математические основы искусственного интеллекта» в вузах. Ведущую роль играли методы системного анализа развития ИИ и его математических основ. В соответствии с основными принципами системности, целостности и иерархии были выделены системообразующие элементы математических основ ИИ, которыми являются математические структуры и схемы (способы, методы познания). В соответствии с культурологическим подходом важную роль в исследовании играли такие базовые составляющие математической культуры исследований, как математическое моделирование и дискретная математика.

Для выявления структурных элементов профильного содержания курса «Математические основы ИИ» был применен системный анализ направлений развития искусственного интеллекта, представленных в ряде работ [Суркова, Остроух, 2024; Marenich, 2024].

Результаты исследования. Как вытекает из анализа литературы, предметное поле

систем ИИ стало трудно обозримым, поэтому необходимо его сужение путем рассмотрения только фундаментальных основ, а вузовский курс необходимо строить с учетом трансдисциплинарного тренда в науке и образовании. При этом необходимо учитывать в первую очередь не ту или иную трактовку ИИ, а специфику того направления подготовки студентов, для которого будет предназначен этот курс.

О роли выделенных выше разделов математики как математических основ ИИ свидетельствует анализ содержания подготовки по направлению «Математика и компьютерные науки», реализуемой в ведущих университетах России. Как показывает этот анализ, ключевыми понятиями, буквально пронизывающими современные науки, являются общенаучные понятия: алгебраическая операция, комбинаторная конфигурация, алгоритмы, граф и сеть и др. Все эти разделы математики так или иначе отражены в пособиях по дискретной математике. Благодаря охарактеризованному выше математическим основам ИИ реализуется идея моделирования процессов человеческого мышления с помощью компьютера, в котором основой является методология моделирования с использованием компьютера. Авторами было показано, что эта методология является культурологической основой реализации междисциплинарного подхода в подготовке студентов [Перминов, Тестов, 2024].

Предметом методологии моделирования является выделение этапов задач с использованием компьютера на основе разработки моделей исследуемых объектов или явлений, а также алгоритмов и компьютерных программ для решения этих задач на основе созданных моделей. Реализация этих этапов базируется на междисциплинарных знаниях различных наук, а их основой является математическое моделирование.

Одним из главных достижений в исследованиях искусственного интеллекта стало осознание того, что внешне несхожие методы ИИ в рамках одной и той же математической модели могут оказаться частными случаями. Очень важно, что на основе математических моделей

отдельные части системы ИИ могут описываться специалистами в самых различных областях науки и техники, зачастую даже плохо понимающими друг друга. Важную роль играют понятия изоморфизма и гомоморфизма математических моделей, позволяющие специалистам за различными наименованиями элементов технических, экономических и других моделей увидеть структуру самой математической модели. Благодаря этому в компьютерной математической модели восстанавливается необходимая для анализа ее поведения целостность восприятия системы ИИ, утраченная в результате процесса дифференциации и специализации знаний в условиях их стремительного роста. При этом в разработке компьютерной математической модели ведущую роль играют те или иные понятия и методы из перечисленных разделов математических основ ИИ.

В своей работе академик В.М. Глушков фактически подтверждает охарактеризованную нами роль методов математического моделирования, подчеркнув, что современные методы математического моделирования (с использованием компьютеров) применимы и там, где отсутствуют классические математические описания [Глушков, 1986].

Как уже отмечалось, в цифровой трансформации науки и образования с использованием ИИ велика роль дискретной математики. Поэтому при отборе профильного содержания курса «Математические основы ИИ» важную роль играет анализ содержания подготовки по дискретной математике, сложившегося в высшем профессиональном образовании. Такой анализ показывает, что справедливы выделенные нами дидактические положения о выработке рекомендаций по содержанию типовых учебных программ обучения курсу «Математические основы ИИ» в вузах.

В содержании подготовки студентов важным является положение о том, что математика едина и имеет свою внутреннюю логику, которое с давних пор было частью математической культуры исследований. Математизация профильных дисциплин IT-подготовки в вузах

является основой фундаментализации подготовки, ведущую роль в которой играет синергия дискретного и непрерывного начал моделирования и алгоритмизации [Перминов, Тестов, 2024]. Поэтому обучение системам ИИ необходимо осуществлять на основе тесной взаимосвязи дискретной и непрерывной математики. Это положение означает формирование у студентов умений воссоздания в системе ИИ непрерывной модели на основе ее дискретного аналога с помощью трансформации. Такие умения имеют первостепенное значение при использовании в математическом моделировании систем ИИ на основе компьютерного, программного и аппаратного обеспечения. Данное положение особенно важно при обучении студентов разработке и совершенствованию систем ИИ, обеспечивающих работу сложных систем.

Следует учитывать, что эффективность реализации дискретной линии в обучении данному курсу возможно осуществить лишь на основе обучения языку доминирующих в системах ИИ математических структур и схем. Эти структуры имеют многочисленные приложения. Так, алгебраические структуры применяются в разработке основ теории формальных языков, математических основ нейронных сетей, квантовых алгоритмов и т.д. В свою очередь, порядковые структуры лежат в основе структур представления информации в базе данных ИИ, которые, как правило, являются иерархическими. Можно привести и другие примеры, демонстрирующие важность в подготовке программистов перечисленных структур мышления, в частности комбинаторных [Кнут, 2013]. О важности развития этих структур мышления свидетельствует анализ содержания такой области дискретной математики, как комбинаторный анализ, центральной задачей которого является задача размещения объектов, например последовательностей символов по определенным правилам и нахождения числа способов, которыми это может быть сделано [Перминов, Тестов, 2020].

Эти структуры и схемы лежат в основе конструирования формальных систем ИИ и повышении эффективности работы компьютеров.

Язык этих структур и схем играет важную роль в формировании у студентов умений качественного анализа сложных проблем систем ИИ, особенно в упорядочении, систематизации, структуризации и представлении имеющихся знаний в компьютере для последующего их анализа и применения. Язык таких структур и схем буквально пронизывает исследования на основе ИИ, и поэтому обучение этому языку расширяет возможности математической подготовки в области систем ИИ.

Важное значение имеет формирование умений классификации задач ИИ: на проблему изоморфизма; на проблему алгоритмической разрешимости; на выразимость в терминах математических основ ИИ; на разработку «хороших», т.е. эффективных, полиномиальных (или сводящихся к ним) алгоритмов ИИ с оптимальным использованием возможностей компьютера.

Таким образом, указанный курс лежит в основе формирования общепрофессиональных компетенций в области ИИ, играющих важную роль в подготовке студентов разных направлений, в том числе способности разрабатывать алгоритмы и программные продукты для решения профессиональных задач, а также разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение информационных комплексов.

Разумеется, для формирования общепрофессиональных компетенций в области ИИ на основе изложенных и возможных других положений в обучении курсу «Математические основы ИИ» необходима разработка соответствующей методики обучения этому курсу. Проведенный анализ многочисленной учебной литературы по обучению дискретной математике в вузах показывает, что в ней можно обнаружить много важных элементов методики обучения выделенным математическим основам ИИ. Особенно много таких методических наработок накопилось в методике обучения понятиям и методам математической логики, теории алгоритмов, абстрактной алгебры, комбинаторного анализа. Кроме того, некоторые элементы методики обучения этим

разделам математики фактически внедрены уже и в профильное обучение в школе, что закладывает основы для обучения важным элементам ИИ учащихся классов с углубленным изучением математики, физики и других предметов.

Заключение. При внедрении в вузы изучения ИИ важно учесть, что в последние годы в самых различных науках и в образовании наблюдается трансдисциплинарный тренд. Поэтому методологическим ориентиром в разработке типовых учебных программ для рассмотренного курса должен стать соответствующий подход. В них должны быть отражены как общие методологические основы содержания этого курса

для того или иного направления подготовки, так и математические основы ИИ, которые целесообразно внедрить в подготовку в вузах в виде специального курса или модуля.

Внедрение в подготовку в вузах курса «Математические основы ИИ» позволяет формировать у студентов общепрофессиональные компетенции, повышать уровень их общей математической культуры. На основе изучения этого курса формируются общенаучный стиль мышления и новое целостное мировоззрение, готовность к системному решению сложных проблем природы и общества, что очень важно для предотвращения рисков внедрения систем ИИ.

Библиографический список

1. Глушков В.М. Кибернетика. Вопросы теории и практики. М.: Наука, 1986. 488 с.
2. Каляев И.А. Искусственный интеллект: Камо грядеши? // Экономические стратегии. 2019. № 5. С. 6–18. DOI: 10.33917/es-5.163.2019.6-15
3. Кнут Д. Искусство программирования: пер. с англ. М.: Вильямс, 2013. Т. 4: А. Комбинаторные алгоритмы. Ч. 1. 960 с.
4. Перминов Е.А., Тестов В.А. Математизация профильных дисциплин как основа фундаментализации ИТ-подготовки в вузах // Образование и наука. 2024. Т. 26, № 7. С. 12–43. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-7-12-43
5. Перминов Е.А., Тестов В.А. Методология моделирования как основа реализации междисциплинарного подхода в подготовке студентов педагогических направлений // Образование и наука. 2020. Т. 22, № 6. С. 9–30. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-6-9-30
6. Соколов И.А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 4. С. 365–370. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894365-370>
7. Суркова Н.Е., Остроух А.В. Системы искусственного интеллекта: монография. СПб.: Лань, 2024. 228 с.
8. Тестов В.А., Перминов Е.А. Роль математики в трансдисциплинарности содержания современного образования // Образование и наука. 2021. Т. 23, № 3. С. 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34
9. Alam, M., Gangemi, A., Presutti, V. et al. (2021). Semantic role labeling for knowledge graph extraction from text. *Progress in Artificial Intelligence*, 10, 9–320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13748-021-00241-7>
10. Bushmeleva, N.A., & Baklashova, T.A. (2017). Methodological teaching system of mathematical foundations of formal languages as a means of fundamentalization of education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13 (8). 5141–5155. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00989a
11. Frodeman, R., Klein, J.T., & Mitcham, C. (2010). *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. New York; Oxford.
12. Kizito, M. (2017). Transdisciplinarity and information systems: IT governance in the digitalization of healthcare. *Proceedings of the IS4SI 2017 Summit Digitalization for a Sustainable Society*, 1 (3), 175. DOI: 10.3390/IS4SI-2017-04015

13. Liu, R., Yang, B., Zio, E., & Chen, X. (2018). Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery. A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 108, 33–47. DOI: 10.1016/j.ymssp.2018.02.016
14. Marenich, A.S. (2024; June 19). Mathematical education of engineers and artificial intelligence. In *Современная математика и концепции инновационного математического образования* [Modern mathematics and concepts of innovative mathematical education] (11, pp. 240–248). International research to practice conference, Moscow (Russia), 2024. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_68047147_23000619.pdf (access date: 08.01.2026).
15. Pohl, C., Krutli, P., Stauffacher, M. & Modolo, L. (2018). Teaching transdisciplinarity appropriately for students' education level. *GAIA Ecological Perspectives for Science and Society*. 27 (2), 250–252. DOI: 10.14512/gaia.27.2.14.
16. Whittlestone, J., Nyrup, R., Alexandrova, A., Dihal, K., & Cave, S. (2019). *Ethical and societal implications of algorithms, data, and artificial intelligence*. London, Nuffield Foundation.
17. Yan, H., Lin, F., & Kinshuk (2020). Including learning analytics in the loop of self-paced online course learning design. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31, 878–895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00225-z>

FEATURES OF TEACHING MATHEMATICAL FOUNDATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AT UNIVERSITIES

E.A. Perminov (Ekaterinburg, Russia)

V.A. Testov (Vologda, Russia)

E.A. Ganicheva (Vologda, Russia)

Abstract

Statement of the problem. In modern university education, teaching the fundamentals of artificial intelligence to students is becoming increasingly important in various fields. Mathematics plays a crucial role in the emergence of such a unique scientific field as artificial intelligence. University education is increasingly demanding that students be introduced not only to artificial intelligence technologies but also to its mathematical foundations, which include not only mathematical statistics.

The purpose of the article is to justify the need to introduce teaching of the mathematical foundations of artificial intelligence into the curricula of universities, as well as to substantiate the transdisciplinary role of such a course in education.

Research methodology and methods. The study used methods of systems analysis, transdisciplinary approach, methodology for the development of artificial intelligence and its mathematical foundations, and cultural approach.

Research results. The study identified structural elements of the Mathematical Foundations of Artificial Intelligence course (module). Conceptual principles were identified for developing recommendations for standard curricula for this course at universities. Student training should be guided by the notion that mathematics is unified and that a mathematics course has an internal logic. Teaching artificial intelligence systems should be based on the close relationship between discrete and continuous mathematics. This course serves as a foundation for developing general professional competencies in the field of artificial intelligence. The mathematical foundations of AI enable the idea of computer-assisted modeling of human thought processes.

Conclusion. A transdisciplinary approach should serve as the methodological guideline for developing the curriculum for the proposed course. Based on the study of this course, a special general scientific style of thinking and a new holistic worldview are formed.

Keywords: *mathematical modeling, transdisciplinary approach, discrete mathematics, mathematical logic, theory of algorithms, abstract algebra.*

Perminov, Evgeny A. – DSc (Pedagogy), PhD (Physics and Mathematics), Professor, Department of Mathematical and Natural Sciences, Ural State Pedagogical University (Yekaterinburg, Russia); ORCID: 0000-0002-8807-2476; e-mail: perminov_ea@mail.ru

Testov, Vladimir A. – DSc (Pedagogy), PhD (Physics and Mathematics), Professor, Department of Mathematics and Computer Science, Vologda State University (Vologda, Russia); ORCID: 0000-0002-3573-574X; Researcher ID: A-5900-2016; Scopus ID: 57203921177; e-mail: vladafan@inbox.ru

Ganicheva, Elena M. – PhD (Pedagogy), Associate Professor, Department of Mathematics and Computer Science, Vologda State University (Vologda, Russia); ORCID: 0009-0003-3319-5078; e-mail emg-ca@mail.ru

References

1. Glushkov, V.M. (1986). *Kibernetika. Voprosy teorii i praktiki* [Cybernetics. Theoretical and Practical Issues]. Moscow, Russia.
2. Kalyaev, I.A. (2019). Artificial Intelligence: Here We Come. *Ekonomicheskie strategii* [Economic Strategies], 5, 6–18. DOI: 10.33917/es-5.163.2019.6-15
3. Knuth, D. (2013). *Iskusstvo programmirovaniya. T. 4A. Kombinatornye algoritmy. Chast 1* [The Art of Computer Programming. Vol. 4A. Combinatorial Algorithms. Part 1]. Moscow, Russia.
4. Surkova, N.E., & Ostroukh, A.V. (2024). *Sistemy iskusstvennogo intellekta*. [Artificial Intelligence Systems]. St. Petersburg, Russia.
5. Perminov, E.A., & Testov, V.A. (2020). Modeling methodology as a basis for implementing an interdisciplinary approach in training students of pedagogical majors. *Obrazovanie i nauka* [Education and Science], 22 (6), 9–30. DOI: 10.17853/1994-5639-2020-6-9-30

6. Sokolov, I.A. (2019). Theory and practice of applying artificial intelligence methods. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 89 (4), 365–370. DOI: 10.31857/S0869-5873894365-370
7. Perminov, E.A., & Testov, V.A. [2024]. Mathematization of specialized disciplines as a basis for the fundamentalization of IT training at universities. *Obrazovanie i nauka* [Education and Science], 26 (7), 12–43. DOI: 10.17853/1994-5639-2024-7-12-43
8. Testov, V.A., & Perminov, E.A. (2021). The role of mathematics in the transdisciplinarity of the content of modern education. *Obrazovanie i nauka* [Education and Science], 23 (3), 11–34. DOI: 10.17853/1994-5639-2021-3-11-34
9. Alam, M., Gangemi, A., Presutti, V. et al. (2021). Semantic role labeling for knowledge graph extraction from text. *Progress in Artificial Intelligence*, 10, 9–320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13748-021-00241-7>
10. Bushmeleva, N.A., & Baklashova, T.A. (2017). Methodological teaching system of mathematical foundations of formal languages as a means of fundamentalization of education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13 (8). 5141–5155. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00989a
11. Frodeman, R., Klein, J.T., & Mitcham, C. (2010). *The Oxford handbook of interdisciplinarity*. New York; Oxford.
12. Kizito, M. (2017). Transdisciplinarity and information systems: IT governance in the digitalization of healthcare. *Proceedings of the IS4SI 2017 Summit Digitalization for a Sustainable Society*, 1 (3), 175. DOI: 10.3390/IS4SI-2017-04015
13. Liu, R., Yang, B., Zio, E., & Chen, X. (2018). Artificial intelligence for fault diagnosis of rotating machinery. A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 108, 33–47. DOI: 10.1016/j.ymssp.2018.02.016
14. Marenich, A.S. (2024; June 19). Mathematical education of engineers and artificial intelligence. In *Sovremennaya matematika i kontseptsii innovatsionnogo matematicheskogo obrazovaniya* [Modern mathematics and concepts of innovative mathematical education] (11, pp. 240–248). International research to practice conference, Moscow (Russia), 2024. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_68047147_23000619.pdf (access date: 08.01.2026).
15. Pohl, C., Krutli, P., Stauffacher, M. & Modolo, L. (2018). Teaching transdisciplinarity appropriately for students' education level. *GAIA Ecological Perspectives for Science and Society*. 27 (2), 250–252. DOI: 10.14512/gaia.27.2.14
18. Whittlestone, J., Nyrup, R., Alexandrova, A., Dihal, K., & Cave, S. (2019). *Ethical and societal implications of algorithms, data, and artificial intelligence*. London, Nuffield Foundation.
17. Yan, H., Lin, F., & Kinshuk (2020). Including learning analytics in the loop of self-paced online course learning design. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 31, 878–895. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00225-z>