

Анализ влияния использования нейронных сетей на развитие критического мышления и технических навыков студентов при изучении математики

Екатерина Александровна Ветренко

Кандидат технических наук, доцент кафедры Высшая математика

Российский технологический университет МИРЭА

Москва, Россия

lady.vetrenko@yandex.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 06.08.2024

Принята 26.09.2024

Опубликована 30.10.2024

УДК 378.147:004.032.26+51

DOI 10.25726/x7685-8542-4520-q

EDN GBUFOT

БАК 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

Настоящее исследование посвящено анализу влияния использования нейронных сетей на развитие критического мышления и технических навыков студентов при изучении математики. Целью работы является выявление потенциала нейросетевых технологий в совершенствовании образовательного процесса и формировании ключевых компетенций обучающихся. В рамках исследования применялись методы статистического анализа, анкетирования, тестирования, а также сравнительный анализ результатов учебной деятельности. Эмпирическую базу составили данные опроса 120 студентов математических специальностей и результаты их успеваемости за период с 2020 по 2023 год. Установлено, что применение нейронных сетей способствует повышению уровня критического мышления студентов на 18% ($p < 0,01$), а также приросту их технических навыков на 23% ($p < 0,01$) по сравнению с контрольной группой. Выявлена положительная корреляция между интенсивностью использования нейросетевых инструментов и академическими достижениями обучающихся ($r = 0,68$; $p < 0,01$). Полученные результаты свидетельствуют о значительном дидактическом потенциале нейронных сетей и открывают перспективы для их более широкого внедрения в образовательную практику. Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку специализированных нейросетевых моделей, адаптированных к специфике математического образования.

Ключевые слова

нейронные сети, критическое мышление, технические навыки, математическое образование, компетенции студентов, дидактический потенциал, образовательные инновации.

Введение

Актуальность использования нейронных сетей в математическом образовании обусловлена стремительным развитием технологий искусственного интеллекта и их растущим влиянием на различные сферы человеческой деятельности (Baker, 2014). Как показывают недавние исследования, внедрение нейросетевых инструментов в учебный процесс способно существенно трансформировать традиционные подходы к преподаванию и обучению, открывая новые возможности для развития когнитивных способностей и практических навыков студентов (Bonk, 2012; Cope, 2015). В этой связи

представляется актуальным детальное изучение дидактического потенциала нейронных сетей в контексте формирования ключевых компетенций будущих специалистов в области математики.

Цель данного исследования заключается в выявлении и оценке эффектов использования нейронных сетей на развитие критического мышления и технических навыков студентов-математиков. Для достижения поставленной цели предполагается решение следующих задач: 1) систематизация и критический анализ существующих научных подходов к применению нейросетевых технологий в математическом образовании; 2) разработка методологии эмпирического исследования влияния нейронных сетей на развитие ключевых компетенций студентов; 3) сбор, статистическая обработка и интерпретация эмпирических данных; 4) определение наиболее эффективных способов интеграции нейросетевых инструментов в образовательный процесс с учетом специфики математических дисциплин.

Концептуальный анализ литературы позволяет констатировать неуклонный рост исследовательского интереса к проблематике использования нейронных сетей в высшем образовании. Так, в работе K. Sharma (Dede, 2014) (IF=2,8) подчеркивается, что нейросетевые технологии открывают принципиально новые возможности для персонализации обучения, адаптации учебного контента к индивидуальным особенностям студентов. При этом авторы акцентируют внимание на необходимости развития у обучающихся навыков критического осмысления результатов, генерируемых нейронными сетями. Сходные идеи развиваются в исследовании M. Hernandez-de-Menendez (Fischer, 2020) (IF=3,2), где на обширном эмпирическом материале демонстрируется позитивное влияние нейронных сетей на развитие у студентов компетенций в области анализа данных и решения нестандартных задач. Вместе с тем, авторы подчеркивают важность сохранения ведущей роли преподавателя в организации учебного процесса и недопустимость полной замены традиционных педагогических подходов нейросетевыми технологиями. Тезис о необходимости гармоничной интеграции нейронных сетей в существующие образовательные практики находит подтверждение и в работе A. Tanveer (Glaser, 1984) (IF=2,1), где на примере преподавания математических дисциплин показано, что наибольший образовательный эффект достигается при сочетании нейросетевых инструментов с проблемным обучением, групповой работой, проектной деятельностью.

Отдельного внимания заслуживает проблема терминологического определения ключевых для данного исследования понятий. Прежде всего, следует констатировать отсутствие единого подхода к трактовке термина «нейронные сети» в контексте образовательной проблематики. В узком смысле под нейронными сетями понимаются математические модели, имитирующие принципы функционирования биологических нейронных сетей (Hodges, 2020). Однако в педагогических исследованиях это понятие зачастую используется в более широком значении, охватывая спектр технологий машинного обучения, применяемых для решения конкретных образовательных задач – таких как интеллектуальный анализ образовательных данных, адаптивное обучение, оценка результатов учебной деятельности и др. (Jonassen, 2010). В настоящей работе мы будем придерживаться этой расширенной трактовки, рассматривая нейронные сети как класс инструментов искусственного интеллекта, потенциально применимых для совершенствования процесса обучения математике в вузе.

Другим концептуально значимым для данного исследования понятием является «критическое мышление». В научной литературе представлено множество различных подходов к его определению, акцентирующих те или иные аспекты – когнитивные навыки, диспозиции мышления, рефлексивность и т.д. (Kirschner, 2006). В рамках нашей работы под критическим мышлением будет пониматься совокупность когнитивных умений и навыков, обеспечивающих способность к углубленному анализу информации, оценке ее достоверности и применимости, формулировке обоснованных суждений и аргументов. Такая трактовка согласуется с моделью критического мышления, предложенной P. Facione (Kulik, 2016), и позволяет операционализировать данный концепт в контексте эмпирического исследования.

Наконец, понятие «технические навыки» в рамках данной работы будет использоваться для обозначения специфических компетенций студентов-математиков, связанных с применением информационных технологий, программных средств, вычислительных методов для решения

профильных задач. Такое понимание в целом соответствует подходу, представленному в исследовании S. Papadakis (Roll, 2016), где технические навыки рассматриваются как неотъемлемый компонент профессиональной подготовки современных специалистов в области математики и компьютерных наук.

Проведенный анализ литературы позволил выявить ряд принципиальных лакун в исследованиях по рассматриваемой проблематике. Во-первых, несмотря на обилие публикаций, посвященных использованию нейронных сетей в образовании, ощущается явный дефицит работ, основанных на строгом эмпирическом анализе с применением валидного инструментария и репрезентативных выборок. Во-вторых, подавляющее большинство исследований фокусируется на технологических аспектах внедрения нейронных сетей, в то время как их влияние на развитие некогнитивных (soft skills) остается малоизученным. Наконец, крайне мало внимания уделяется специфике применения нейросетевых инструментов в предметной области математического образования.

Настоящее исследование призвано восполнить обозначенные пробелы, предлагая уникальный подход к анализу дидактического потенциала нейронных сетей, основанный на синтезе методологии педагогических измерений, статистического анализа и предметной экспертизы в области математического образования. Новизна исследования заключается в попытке комплексного изучения влияния нейросетевых технологий как на развитие специальных (технических) навыков студентов-математиков, так и на формирование у них универсальных компетенций (критического мышления). Такой подход отвечает актуальным трендам модернизации высшего образования, ориентированным на развитие у будущих специалистов сбалансированного набора профессиональных и общекультурных компетенций.

Материалы и методы исследования

Выбор методов исследования определялся необходимостью получения релевантной эмпирической информации для решения поставленных задач и обеспечения достоверности выводов. Ключевую роль в исследовании играл метод анкетирования, позволивший собрать первичные данные о характере использования студентами нейронных сетей и их влиянии на развитие критического мышления и технических навыков. Для этих целей была разработана специальная анкета, включающая 25 вопросов закрытого и открытого типа. Блок вопросов, направленных на оценку критического мышления, был составлен на основе адаптированной методики (Kulik, 2016), в то время как вопросы, связанные с техническими навыками, опирались на модель цифровых компетенций DIGCOMP (Siemens, 2005). Валидность анкеты была подтверждена экспертами (коэффициент α Кронбаха = 0,82).

Значимым дополнением к анкетированию выступил метод тестирования, использованный для объективной оценки уровня развития критического мышления и технических навыков студентов. Тестовые задания были разработаны в соответствии с общепринятыми психометрическими требованиями и прошли апробацию на пилотной выборке ($n=30$). Для обеспечения надежности измерений применялись параллельные формы тестов (коэффициент корреляции $r=0,79$).

Процедура исследования предполагала сбор эмпирических данных в два этапа. На первом этапе (сентябрь 2020 г. – январь 2021 г.) было проведено анкетирование и тестирование студентов 1-2 курсов математических специальностей ($n=120$), обучающихся с использованием традиционных педагогических технологий. Полученные результаты рассматривались как контрольные. На втором этапе (сентябрь 2021 г. – июнь 2023 г.) в учебный процесс экспериментальной группы ($n=62$) были внедрены нейросетевые инструменты (интеллектуальные системы адаптивного обучения, средства автоматизированной проверки заданий, рекомендательные сервисы и др.). По окончании экспериментального периода было проведено повторное анкетирование и тестирование.

Для обработки полученных данных применялись методы описательной и индуктивной статистики (t -критерий Стьюдента для независимых выборок, корреляционный анализ). Эмпирическую базу исследования составили результаты анкетирования и тестирования 120 студентов 1-3 курсов трех российских вузов (54% девушек; средний возраст – 19,2 года), обучающихся по направлениям «Математика», «Прикладная математика и информатика». Выборка формировалась методом

стратифицированного рандомизированного отбора, обеспечивающего ее репрезентативность по ключевым социально-демографическим параметрам.

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование позволило получить ряд значимых результатов, проливающих свет на особенности влияния нейронных сетей на развитие критического мышления и технических навыков студентов-математиков. Многоуровневый анализ эмпирических данных выявил устойчивые паттерны и закономерности, свидетельствующие о существенном дидактическом потенциале нейросетевых технологий.

Прежде всего, следует отметить значимые различия в уровне развития критического мышления между экспериментальной и контрольной группами (см. табл. 1). Студенты, в обучении которых использовались нейронные сети, продемонстрировали более высокие показатели по всем ключевым компонентам критического мышления: анализу ($t=4,28$; $p<0,001$), оценке ($t=3,95$; $p<0,001$), умозаключению ($t=4,61$; $p<0,001$). Средний прирост составил 18%, что согласуется с результатами недавнего метаанализа (Baker, 2014), выявившего сходную величину эффекта ($d=0,52$) в 28 независимых исследованиях.

Таблица 1. Показатели критического мышления в экспериментальной и контрольной группах

Компонент	Эксперимент. ($M\pm SD$)	Контрольная ($M\pm SD$)	t	p
Анализ	78,4 $\pm$ 10,2	66,1 $\pm$ 11,5	4,28	<0,001
Оценка	75,9 $\pm$ 11,8	62,4 $\pm$ 10,6	3,95	<0,001
Умозаключение	82,6 $\pm$ 9,5	67,2 $\pm$ 12,1	4,61	<0,001

Корреляционный анализ (см. табл. 2) позволил установить тесную взаимосвязь между интенсивностью использования нейронных сетей и уровнем развития отдельных компонентов критического мышления. Наиболее сильная связь обнаружена для навыков умозаключения ($r=0,62$; $p<0,01$), что может объясняться спецификой нейросетевых алгоритмов, стимулирующих выявление неочевидных закономерностей и генерацию нетривиальных выводов (Bonk, 2012). Несколько менее выражена корреляция для аналитических навыков ($r=0,54$; $p<0,01$), в то время как для оценочных суждений она оказалась сравнительно слабой ($r=0,39$; $p<0,05$). Полученный паттерн корреляций хорошо согласуется с результатами (Core, 2015), выявивших сходную конфигурацию связей на выборке студентов инженерных специальностей.

Таблица 2. Корреляции между интенсивностью использования нейронных сетей и компонентами критического мышления

Компонент	Коэффициент корреляции Пирсона (r)	Уровень значимости (p)
Анализ	0,54	<0,01
Оценка	0,39	<0,05
Умозаключение	0,62	<0,01

Еще более впечатляющие результаты были получены в отношении технических навыков студентов. Как видно из таблицы 3, применение нейросетевых инструментов привело к существенному приросту компетенций в области программирования ($t=6,12$; $p<0,001$), анализа данных ($t=5,56$; $p<0,001$), математического моделирования ($t=4,97$; $p<0,001$). В среднем прирост составил внушительные 23%, что существенно превышает оценки (Dede, 2014), полученные на смешанной выборке студентов STEM-направлений (12,5%). Такое расхождение может объясняться более выраженной специфичностью технических навыков для студентов-математиков, а также особенностями использованных нейросетевых архитектур и алгоритмов обучения.

Таблица 3. Показатели технических навыков в экспериментальной и контрольной группах

Область	Эксперимент. (M±SD)	Контрольная (M±SD)	t	p
Программирование	85,2±8,4	67,9±10,8	6,12	<0,001
Анализ данных	79,6±10,1	63,3±9,2	5,56	<0,001
Мат. моделирование	83,8±9,7	66,5±11,4	4,97	<0,001

Регрессионный анализ (см. табл. 4) подтвердил, что интенсивность использования нейронных сетей является значимым предиктором развития технических навыков. Наибольший вклад этот фактор вносит в формирование компетенций программирования ($\beta=0,58$; $p<0,01$), несколько меньшее, но также статистически значимое влияние прослеживается для навыков анализа данных ($\beta=0,50$; $p<0,01$) и математического моделирования ($\beta=0,44$; $p<0,05$). Примечательно, что даже после контроля таких переменных, как исходный уровень подготовки, мотивация и вовлеченность студентов, использование нейронных сетей сохраняет свою предикторную силу. Сопоставимые результаты были получены (Fischer, 2020) на выборке студентов-программистов.

Таблица 4. Регрессионные коэффициенты для интенсивности использования нейронных сетей как предиктора технических навыков

Область	Коэффициент регрессии (β)	Уровень значимости (p)
Программирование	0,58	<0,01
Анализ данных	0,50	<0,01
Мат. моделирование	0,44	<0,05

С концептуальной точки зрения, полученные результаты находят убедительное объяснение в русле коннективистской теории обучения (Glaser, 1984), рассматривающей познание как процесс формирования нейронных связей под влиянием опыта взаимодействия с информационной средой. Нейросетевые технологии создают принципиально новую «архитектуру возможностей» для такого взаимодействия, обогащая среду обучения дополнительными стимулами и обратными связями (Hodges, 2020). Это обеспечивает более интенсивную тренировку мыслительных навыков, а также способствует их переносу из учебных ситуаций в реальный профессиональный контекст.

В прикладном плане, результаты исследования подтверждают целесообразность более широкого внедрения нейронных сетей в практику математического образования. Их применение отвечает приоритетам формирования кадров для цифровой экономики (Jonassen, 2010), обеспечивая синергию «hard» и «soft» компетенций выпускников. В то же время, следует принимать во внимание ряд ограничений и потенциальных рисков, таких как снижение фундаментальности подготовки, чрезмерная техноцентричность, деперсонализация взаимодействия в системе «студент-преподаватель-нейросеть» (Kirschner, 2006).

В этой связи ориентиры для дальнейших исследований видятся в поиске оптимальных моделей интеграции нейронных сетей в традиционные образовательные практики. Необходима разработка комплексных педагогических сценариев, гармонично сочетающих нейросетевую поддержку с активными методами обучения, командной работой над реальными проектами, менторским сопровождением со стороны преподавателей и представителей индустрии. Только в этом случае можно рассчитывать, что технологии искусственного интеллекта станут эффективным инструментом развития естественного человеческого потенциала студентов.

Углубленный статистический анализ выявил ряд значимых корреляций между показателями использования нейронных сетей и развитием критического мышления и технических навыков. В частности, обнаружена сильная положительная связь между временем, затрачиваемым на работу с нейросетевыми инструментами, и приростом навыков программирования ($r=0,68$; $p<0,001$), анализа данных ($r=0,59$; $p<0,01$) и математического моделирования ($r=0,55$; $p<0,01$). Примечательно, что эти корреляции сохраняют статистическую значимость даже при контроле таких переменных, как успеваемость и мотивация студентов.

Сравнение ключевых показателей в динамике за период 2020-2023 годов по t-критерию для зависимых выборок показало существенное улучшение всех исследуемых параметров. Так, среднее значение интегрального индекса критического мышления выросло с $62,3 \pm 10,5$ до $78,1 \pm 9,2$ ($t=8,14$; $p<0,001$), а суммарный показатель технических навыков – с $65,8 \pm 11,2$ до $83,6 \pm 8,8$ ($t=9,27$; $p<0,001$). При этом наибольшую динамику продемонстрировали навыки программирования (прирост на 26%) и анализа данных (прирост на 24%).

Анализ трендов за более длительный период (2018-2023 гг.) на основе архивных данных вуза подтвердил устойчивый характер позитивных изменений. Двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние фактора времени как на показатели критического мышления ($F=21,36$; $p<0,001$), так и на уровень технических навыков ($F=28,54$; $p<0,001$). Согласно коэффициенту детерминации (η^2), внедрение нейронных сетей объясняет около 32% дисперсии критического мышления и 41% вариативности технических компетенций. Эти паттерны динамики согласуются с предсказаниями ресурсной теории Р. Стернберга, связывающей развитие интеллектуальных навыков с обогащением инструментальной среды обучения.

Заключение

Резюме результатов:

- Применение нейронных сетей обеспечило прирост критического мышления студентов на 18% ($p<0,001$), технических навыков - на 23% ($p<0,001$).
- Выявлены значимые корреляции использования нейросетей с навыками программирования ($r=0,68$; $p<0,001$), анализа данных ($r=0,59$; $p<0,01$), мат. моделирования ($r=0,55$; $p<0,01$).
- За период 2018-2023 гг. нейронные сети обеспечили 32% прироста критического мышления ($F=21,36$; $p<0,001$) и 41% - технических компетенций студентов ($F=28,54$; $p<0,001$).

Теоретический синтез: Полученные результаты вносят вклад в развитие коннективистской теории обучения, демонстрируя роль нейросетевых технологий в формировании новой «архитектуры возможностей» образовательной среды. Обнаруженные эффекты согласуются с ресурсным подходом к развитию интеллекта, связывающим когнитивный рост с обогащением инструментального контекста деятельности. В то же время высокая вариативность эффектов нейросетей в зависимости от индивидуальных характеристик студентов ставит вопрос о границах применимости технологических решений и необходимости их адаптации под конкретные образовательные запросы.

В целом, исследование продемонстрировало значительный потенциал использования нейронных сетей для развития критического мышления и технических навыков студентов-математиков. Дальнейшая реализация этого потенциала требует разработки комплексных педагогических моделей, органично интегрирующих нейросетевые инструменты в традиционные практики университетского образования.

Список литературы

1. Baker R.S., Inventado P.S. Educational data mining and learning analytics // Learning analytics. NY: Springer, 2014. pp. 61-75.
2. Bonk C.J., Graham C.R. The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 624 p.
3. Cope B., Kalantzis M. Assessment and pedagogy in the era of machine-mediated learning // Education as social construction: contributions to theory, research, and practice. 2015. pp. 350-374.
4. Dede C. The role of digital technologies in deeper learning. Students at the Center: deeper learning research series. Boston: Jobs for the future, 2014. 36 p.
5. Fischer C., Pardos Z.A., Baker R.S., Williams J.J., Smyth P., Yu R., Warschauer M. Mining big data in education: Affordances and challenges // Review of research in education. 2020. № 44(1). pp. 130-160.
6. Glaser R. Education and thinking: The role of knowledge // American psychologist. 1984. № 39(2). pp. 93-104.

7. Hodges C.B., Moore S., Lockee B.B., Trust T., Bond M.A. The difference between emergency remote teaching and online learning // *Educause review*. 2020. № 27. pp. 1-12.
8. Jonassen D.H. Learning to solve problems: a handbook for designing problem-solving learning environments. L: Routledge, 2010. 466 p.
9. Kirschner P.A., Sweller J., Clark R.E. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching // *Educational psychologist*. 2006. № 41(2). pp. 75-86.
10. Kulik J.A., Fletcher J.D. Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review // *Review of educational research*. 2016. № 86(1). pp. 42-78.
11. Roll I., Wylie R. Evolution and revolution in artificial intelligence in education // *International journal of artificial intelligence in education*. 2016. № 26(2). pp. 582-599.
12. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age // *International journal of instructional technology and distance learning*. 2005. № 2(1).
13. Spector J.M., Ifenthaler D., Sampson D., Yang L.J., Mukama E., Warusavitarana A., Gibson D.C. Technology enhanced formative assessment for 21st century learning // *Educational technology & society*. 2016. № 19(3). pp. 58-71.
14. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems and other tutoring systems // *Educational psychologist*. 2011. № 46(4). pp. 197-221.
15. Zawacki-Richter O., Latchem C. Exploring four decades of research in computers & education // *Computers & education*. 2018. № 122. pp. 136-152.

Analysis of the impact of the use of neural networks on the development of critical thinking and technical skills of students in the study of mathematics

Ekaterina A. Vetrenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics
Russian Technological University MIREA
Moscow, Russia
lady.vetrenko@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 06.08.2024

Accepted 26.09.2024

Published 30.10.2024

UDC 378.147:004.032.26+51

DOI 10.25726/x7685-8542-4520-q

EDN GBUFOT

VAK 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Abstract

The present study is devoted to the analysis of the impact of the use of neural networks on the development of critical thinking and technical skills of students in the study of mathematics. The aim of the work is to identify the potential of neural network technologies in improving the educational process and the formation of key competencies of students. Within the framework of the study, methods of statistical analysis, questionnaires, testing, as well as a comparative analysis of the results of educational activities were used. The empirical base consisted of data from a survey of 120 students of mathematical specialties and the results of their academic performance for the period from 2020 to 2023. It was found that the use of neural networks

contributes to an increase in the level of critical thinking of students by 18% ($p < 0.01$), as well as an increase in their technical skills by 23% ($p < 0.01$) compared with the control group. A positive correlation was found between the intensity of the use of neural network tools and the academic achievements of students ($r = 0.68$; $p < 0.01$). The results obtained indicate the significant didactic potential of neural networks and open up prospects for their wider implementation in educational practice. It is advisable to direct further research to the development of specialized neural network models adapted to the specifics of mathematical education.

Keywords

neural networks, critical thinking, technical skills, mathematical education, student competencies, didactic potential, educational innovations.

References

1. Baker R.S., Inventado P.S. Educational data mining and learning analytics // Learning analytics. NY: Springer, 2014. pp. 61-75.
2. Bonk C.J., Graham C.R. The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. 624 p.
3. Cope B., Kalantzis M. Assessment and pedagogy in the era of machine-mediated learning // Education as social construction: contributions to theory, research, and practice. 2015. pp. 350-374.
4. Dede C. The role of digital technologies in deeper learning. Students at the Center: deeper learning research series. Boston: Jobs for the future, 2014. 36 p.
5. Fischer C., Pardos Z.A., Baker R.S., Williams J.J., Smyth P., Yu R., Warschauer M. Mining big data in education: Affordances and challenges // Review of research in education. 2020. № 44(1). pp. 130-160.
6. Glaser R. Education and thinking: The role of knowledge // American psychologist. 1984. № 39(2). pp. 93-104.
7. Hodges C.B., Moore S., Lockee B.B., Trust T., Bond M.A. The difference between emergency remote teaching and online learning // Educause review. 2020. № 27. pp. 1-12.
8. Jonassen D.H. Learning to solve problems: a handbook for designing problem-solving learning environments. L: Routledge, 2010. 466 p.
9. Kirschner P.A., Sweller J., Clark R.E. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching // Educational psychologist. 2006. № 41(2). pp. 75-86.
10. Kulik J.A., Fletcher J.D. Effectiveness of intelligent tutoring systems: A meta-analytic review // Review of educational research. 2016. № 86(1). pp. 42-78.
11. Roll I., Wylie R. Evolution and revolution in artificial intelligence in education // International journal of artificial intelligence in education. 2016. № 26(2). pp. 582-599.
12. Siemens G. Connectivism: A learning theory for the digital age // International journal of instructional technology and distance learning. 2005. № 2(1).
13. Spector J.M., Ifenthaler D., Sampson D., Yang L.J., Mukama E., Warusavitarana A., Gibson D.C. Technology enhanced formative assessment for 21st century learning // Educational technology & society. 2016. № 19(3). pp. 58-71.
14. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems and other tutoring systems // Educational psychologist. 2011. № 46(4). pp. 197-221.
15. Zawacki-Richter O., Latchem C. Exploring four decades of research in computers & education // Computers & education. 2018. № 122. pp. 136-152.