

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Оригинальная статья / Original paper

doi:10.17853/1994-5639-2024-9-42-73



Факторы формирования STEM-компетенций в условиях профессионального образования: аналитический обзор зарубежных исследований

И.Н. Попова¹, А.И. Сатдыков²

*Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация.
mail: ¹popova-in@ranepa.ru; ²satdykov-ai@ranepa.ru*

✉ popova-in@ranepa.ru

Аннотация. *Введение.* Формирование STEM-компетенций по всему миру является одним из приоритетных направлений современных научных исследований. При этом факторы формирования STEM-компетенций остаются недостаточно изученными и отражены в результатах научных работ фрагментарно, что делает настоящее исследование актуальным и своевременным. *Цель* статьи состоит в систематизации научных представлений о STEM-компетенциях и условиях их формирования как предпосылки осознания перспектив развития STEM на ступени профессионального образования. *Методология, методы и методики.* Исследование является обзорно-аналитическим и направлено на отражение теоретического и прикладного аспектов STEM образования. В работе систематизируются научные взгляды на определение и модели формирования STEM-компетенций, анализируются научные статьи, относящиеся к периоду 2005–2024 годов, позволяющие выстроить систему факторов формирования STEM-компетенций в условиях профессионального образования в зарубежных странах. *Результаты и научная новизна.* Систематизированы факторы и представления об условиях формирования STEM-компетенций в процессе профессиональной подготовки кадров для инновационной экономики. Описана система факторов формирования STEM-компетенций. Выявлены барьеры, оказывающие тормозящее влияние на развитие данного направления. *Практическая значимость.* Результаты исследования могут быть использованы при разработке образовательных программ подготовки специалистов по направлениям критических и сквозных технологий в системе профессионального образования.

Ключевые слова: STEM-компетенции, факторы формирования STEM-компетенций, профессиональное образование, STEM-специалисты, инженерное образование

Благодарности. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания РАНХиГС на 2024 год.

Для цитирования: Попова И.Н., Сатдыков А.И. Факторы формирования STEM-компетенций в условиях профессионального образования: аналитический обзор зарубежных исследований. *Образование и наука.* 2024;26(9):42–73. doi:10.17853/1994-5639-2024-9-42-73

Factors influencing the development of STEM competencies in vocational training: an analytical review of international studies

I.N. Popova¹, A.I. Satdykov²

*Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow,
Russian Federation.*

E-mail: ¹popova-in@ranepa.ru; ²satdykov-ai@ranepa.ru

✉ *popova-in@ranepa.r*

Abstract. *Introduction.* The development of STEM competencies worldwide is a priority in contemporary scientific research. Despite its significance for modern advancements in this field, the factors influencing the formation of STEM competencies remain insufficiently explored and are only partially addressed in existing scientific literature. This gap underscores the relevance and timeliness of the current study. *Aim.* The present research *aimed* to systematise scientific concepts regarding STEM competencies and the conditions necessary for their development, which are essential for understanding the prospects of STEM advancement in vocational education. *Methodology and research methods.* The research is a review-analytical study that aims to reflect on both the theoretical and applied aspects of STEM education. This paper systematises scientific perspectives on the definitions and models for the development of STEM competencies. It analyses scientific articles published between 2005 and 2024, facilitating the construction of a system of factors that influence the development of STEM competencies within the context of vocational education in foreign countries. *Results and scientific novelty.* The authors systematically organised the factors and concepts related to the conditions necessary for the development of STEM competencies within the context of vocational training for the innovation economy. A comprehensive system of factors influencing STEM competencies was described, and the barriers that impede the advancement of this area have been identified. *Practical significance.* The findings of the study can be applied to the development of educational programmes for training specialists in critical and end-to-end technologies within the vocational training system.

Keywords: STEM competencies, factors of STEM competencies formation, vocational education, STEM professionals, engineering education

Acknowledgements. The article was prepared within the framework of fulfillment of the state assignment of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration for 2024.

For citation: Popova I.N., Satdykov A.I. Factors influencing the development of STEM competencies in vocational training: an analytical review of international studies. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2024;26(9):42–73. doi:10.17853/1994-5639-2024-9-42-73

Factores en la formación de competencias STEM en la educación vocacional: una revisión analítica de investigaciones extranjeras

I.N. Popova¹, A.I. Satdýkov²

*Academia Rusa de Economía Nacional y Administración Pública
bajo la Presidencia de la Federación de Rusia, Moscú, Federación de Rusia.*

mail: ¹popova-in@ranepa.ru; ²satdykov-ai@ranepa.ru

✉ *popova-in@ranepa.ru*

Abstracto. *Introducción.* Las competencias STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) en todo el mundo son una de las áreas prioritarias de la investigación científica moderna. Al mismo tiempo, la consolidación de factores en la formación de competencias STEM sigue siendo estudiada de manera deficiente y ello, se refleja en los resultados de trabajos científicos fragmentados, lo que hace que la investigación aquí llevada a cabo, sea relevante y oportuna. *Objetivo.* El objetivo del artículo es sistematizar las ideas científicas sobre las competencias STEM y las condiciones para su formación como requisito previo a fin de comprender las perspectivas de desarrollo de las STEM en la etapa de educación vocacional. *Metodología, métodos y procesos de investigación.* El estudio es de revisión y análisis y tiene como objetivo reflejar los aspectos teóricos y aplicados de la educación STEM. La investigación sistematiza visiones científicas sobre la definición y modelos de formación de competencias STEM, analiza artículos científicos relacionados con el período de los años 2005 a 2024, que permiten construir un sistema de factores para la formación de competencias STEM en el contexto de la educación vocacional en otros países. *Resultado y novedad científica.* Se sistematizan los factores e ideas sobre las condiciones para la formación de competencias STEM en el proceso de formación profesional para la economía innovadora y se caracterizan las barreras para el desarrollo de este campo de la ciencia y la educación. Se describe un sistema de factores referente a la formación de competencias STEM. Se han identificado barreras que tienen un efecto inhibidor sobre el desarrollo de esta orientación. *Significado práctico.* Los resultados del estudio pueden utilizarse en el desarrollo de programas educativos para la formación de especialistas en las áreas de tecnologías críticas y transversales en el sistema de educación vocacional.

Palabras claves: competencias STEM, factores en la formación de competencias STEM, educación vocacional, especialistas STEM, educación en ingeniería

Agradecimientos. El artículo fue elaborado en el marco de las actividades estatales de la Academia Rusa de Economía Nacional y Administración Pública (siglas en ruso RANjiGS) para el año 2024.

Para citas: Popova I.N., Satdýkov A.I. Factores en la formación de competencias STEM en la educación vocacional: una revisión analítica de las investigaciones extranjeras. *Obrazovanie i nauka = Educación y Ciencia.* 2024;26(9):42–73. doi:10.17853/1994-5639-2024-9-42-73

Введение

Процессы интеграции естественно-научного знания, математики, инженерии и технологий, нашедшие свое отражение в новой сфере науки и практики – STEM¹, начало изучения которой относят к периоду 90-х годов XX века – началу XXI века и связывают с именами американских микробиолога R. Colwell

¹STEM – S-Science, T-Technology, E-Engineering, A-Art, M-Mathematics (естественные науки, технологии, инженерия, творчество, математика)

и биолога Judith A. Ramaley [1], послужили идейным основанием для развития инновационных процессов в различных направлениях жизни и деятельности современного человека, отвечающих вызовам технологического уклада Индустрия 4.0. Благодаря инициативе R. Colwell и Judith A. Ramaley идея STEM стала основополагающей в современной образовательной политике стран-технологических лидеров (Индия, Китай, США, Германия, Великобритания и др.). Международная повестка дня, ориентированная на развитие междисциплинарности в различных областях современного знания, направляет внимание на реализацию идеологии STEM в практику подготовки кадров в системе профессионального образования.

По данным информационного портала Statista.com¹, в настоящее время международными центрами получения STEM-образования признаны Малайзия, Тунис (40–43,5 % студентов обучается по программам STEM), Индия (34 %), ОАЭ, Германия, Беларусь, Южная Корея (> 30 % выпускников по программам STEM), Алжир, Мавритания и Марокко (29 %). В Великобритании, Франции, Испании показатели варьируются от 23 % до 26 % выпускников в год. В США этот показатель составляет 19,6 %. Лидерами подготовки кадров в данном направлении является Китай (4,7 млн выпускников по STEM-специальностям в год) [2].

По данным Всемирного экономического форума 2023 года, более 85 % опрошенных руководителей и менеджеров международных компаний считают, что масштаб внедрения передовых технологий, расширение доступа к современным информационным ресурсам с наибольшей вероятностью приведут к весомым преобразованиям в их организациях [3, p. 5].

В отчете по итогам работы Всемирного экономического форума дается анализ ожиданий широкого круга крупнейших работодателей мира относительно тенденций и направлений развития навыков и глобальной кадровой политики на период 2023–2027 гг., в том числе в отношении STEM как высокотехнологичной сферы развития науки и производства. В результате дается развернутая информация о перспективах развития динамики рабочих мест в данной сфере:

- на 30–35 % (1,4 млн) увеличится спрос на такие должности, как аналитики и ученые по данным, специалисты по большим данным, аналитики бизнес-аналитики, специалисты по базам данных и сетям, а также инженеры по данным [3, p. 33];
- спрос на специалистов по искусственному интеллекту и машинному обучению вырастет на 1 млн рабочих мест, поскольку использование искусственного интеллекта и машинного обучения способствует продолжающейся трансформации отрасли [3, p. 33];
- спрос на специалистов по информационной безопасности увеличится на 31 % [3, p. 33];

В странах Европы возрастает потребность в специалистах строительных и смежных профессий, работниках металлургии, машиностроения и смежных

¹ Режим доступа: <https://www.statista.com/> (дата обращения: 01.07.2024).

профессий, специалистов в области информационных и коммуникационных технологий [3, p. 11].

Во всем мире развернулось движение в поддержку STEM-образования. В настоящее время у исследователей международного сообщества вызывают интерес вопросы, связанные с обоснованием методологии STEM/STEAM¹, вопросы технологического обеспечения STEM-образования на разных ступенях его реализации, вопросы мотивации к получению STEM-образования, в том числе с позиции гендерного равенства, вопросы оценки его результатов и многие другие. Раскрытию этой проблематики посвящены сотни зарубежных публикаций: научных статей и тезисов конференций, обзоров и исследовательских отчетов. В направлении STEM работают общественные и профессионально ориентированные организации и сообщества («MINT² Zukunft schaffen!», Германия; GLOBE International STEM Network (GISN), США; STEM Leadership Alliance (SLA), США; EU STEM Coalition, Нидерланды и др.), фонды, реализующие программы финансирования STEM исследований, в том числе на основе гендерного равенства (Okinawa Institute of Science and Technology Foundation «Rita R. Colwell Impact Fund», Япония; National Science Foundation (NSF), США; National STEM Community Foundation, Мальта; AOE National Foundation Scholarships, США и др.).

Актуальность изучения проблематики STEM-образования в современной России обусловлена государственной политикой, направленной на развитие инженерии и высокотехнологичных производств, о чем свидетельствует Концепция технологического развития Российской Федерации до 2030 года³, где одним из значимых мероприятий подготовки кадров по направлениям технологических приоритетов является создание STEM-центров в образовательных организациях на всех уровнях образования⁴. Таким образом, для развития в российской практике данного направления, учитывая богатейший исторически сложившийся опыт подготовки инженерных кадров, объективный интерес вызывают вопросы формирования и оценки STEM-компетенций в условиях современных российских реалий, предлагаемых в организациях среднего и высшего профессионального образования.

Исходя из этого, целью настоящей работы является систематизация научных представлений о STEM-образовании и STEM-компетенциях, факторах их формирования как предпосылок осознания перспектив развития концепции и идеологии STEM на ступени профессионального образования, представленных в материалах зарубежных исследований.

Достижение поставленной цели возможно посредством изучения ряда исследовательских вопросов: об эволюционировании научных представлений о STEM-образовании в определении сущности данного феномена и его резуль-

¹ STEAM – S-Science, T-Technology, E-Engineering, A-Art, M-Mathematics (естественные науки, технологии, инженерия, творчество, математика)

² MINT аналог STEM – в переводе с немецкого MINT - Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik (математика, информатика, естествознание, техника)

³ Концепция технологического развития на период до 2030 года (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-п). Режим доступа: <https://rospatent.gov.ru/content/uploadfiles/technological-2023.pdf> (дата обращения 20.08.2024).

⁴ Там же, С. 32

татах в зарубежных исследованиях, о концептуальных основаниях разработки инструментов оценки STEM-компетенций в условиях профессионального образования, о специфике влияний, обеспечивающих качество подготовки STEM-специалистов для производства на новой ступени технологического развития современного общества и индустрии.

Учитывая существующий в мировом сообществе интерес к развитию идеологии STEM в целях подготовки квалифицированных специалистов для высокотехнологичных производств, что находит свое отражение в том числе и в российских реалиях, а также объективное отсутствие научных публикаций, систематизирующих представления о факторах формирования STEM-компетенций в условиях профессионального образования, мы предполагаем, что материалы настоящего исследования могут представлять научный интерес и быть востребованы при разработке моделей формирования условий и результатов STEM образования. Данное положение определяет суть гипотезы настоящего исследования.

При всей широте существующих в научном контенте публикаций по заявленной проблематике ограничения исследования состоят в концентрации внимания на анализе изучения вопросов STEM-образования и его результатов на материалах зарубежных авторов, что в перспективе потребует дальнейших исследований для проведения корреляции с российскими научными публикациями.

Методология, материалы и методы исследования

Исследование является обзорно-аналитическим и направлено на отражение теоретического и прикладного аспектов STEM-образования. В работе систематизируются научные взгляды на формулировки понятий и моделей формирования STEM-компетенций, анализируются научные статьи, относящиеся к периоду 2005–2024 гг., позволяющие выстроить систему факторов формирования STEM-компетенций в условиях профессионального образования в зарубежных странах.

Для проведения анализа научных публикаций были использованы следующие критерии отбора работ:

- исследования, направленные на раскрытие содержания STEM-компетенций (сущность понятия, специфика характеристик в рамках различных профессий, относящихся к группе STEM);
- публикации, освещающие процессуальные аспекты формирования и оценки STEM-компетенций в условиях профессионального образования (модели, технологии, способы и инструменты оценивания результатов);
- материалы, поднимающие вопросы условий и проблем реализации STEM-образования, в том числе на ступени профессионального образования.

Данные критерии позволили нам отобрать для анализа 100 работ на открытых международных научно-информационных площадках (Academia, ResearchGate, SpringerOpen, ForbsEducation, Semantic Scholar), сайтах офици-

альной государственной политики ряда стран и международных организаций (США, Совет Европы (Council of Europe), UNESCO). На основании их изучения были сопоставлены базовые определения STEM-образования и STEM-компетенций, были охарактеризованы результативные модели STEM-образования в системе профессионального образования на примере описания опыта технологических университетов США, Китайской Народной Республики и Испании, были систематизированы факторы формирования STEM-компетенций и сформулированы рекомендации для развития STEM в современных российских реалиях, представленные в заключении.

Вопрос STEM-компетенций в научных исследованиях: обзор литературы

Проблематика определения оптимального и достаточного набора STEM-компетенций, их характеристика и назначение исследования стала разрабатываться с начала XXI века. Суть этой категории связана с пониманием смысла и назначения STEM-образования. Здесь для широкого круга исследователей в сфере высокотехнологичных производств в зарубежных странах доступны результаты работ М. Sanders (2005, 2006, 2009)^{1,2,3} признанного эксперта в сфере STEM-образования (Virginia Tech, USA), раскрывающие специфику его содержания как «образования, основанного на интегративном подходе», в основу которого положена педагогика «целенаправленного проектирования и исследования» (PD&I), позволяющая создать методологическую основу для аутентичного исследования, встроенного в проектную деятельность и направленного на решение практических задач [1, р. 21]. Идея объяснения сути STEM-образования через интегративный подход была поддержана и нашла свое развитие в работах J. Broggy, J. O'Reilly, S. Erduran (2017) [4], Б. Т. Каримовой (2018) [5], N. S. Boon (2019) [6] и других авторов.

Вслед за ними современные авторы ближнего и дальнего зарубежья ищут новые взгляды на STEM-образование, как на «эффективный способ развития ключевых компетенций студентов» Q. Le et al. (2015) [7], Z. Zhan et al. (2022) [8], «технологии формирования компетенций XXI века» (Н. С. Сологуб, Е. Я. Аршанский, 2020) [9], «условие и средство устойчивого развития» (С. Campbell, С. Speldewinde, 2022) [10], «концепцию подготовки специалистов новой генерации, ориентированных на новаторскую деятельность» (М. Г. Успаева, А. М. Гачаев (2022) [11], «образование, ориентированное на развитие инноваций» (Z. Zhan, S. Niu, 2023) [12].

Соотношение описанных в научных статьях и нормативных документах определений STEM-образования в зарубежных исследованиях представлено в таблице 1.

¹Sanders M., Wells J. STEM graduate education/research collaboratory. Paper presented to the Virginia Tech faculty, Blacksburg, Virginia: Virginia Tech; 2005.

²Sanders M. A rationale for new approaches to STEM education and STEM education graduate programs. In: Proceedings: Mississippi Valley Technology Education Conference. Nashville, TN; 2006.

³Sanders M. STEM, STEM education, STEMmania. The Technology Teacher. 2009;68:20–26. Accessed July 01, 2024. <https://vtechworks.lib.vt.edu/server/api/core/bitstreams/b5f37b87-c914-4e5a-8abc-f9b491dc2e36/content>

Таблица 1
 Интерпретация определений «STEM-образования» по итогам анализа
 зарубежных источников (составлено И. Н. Поповой)

Table 1
 Interpretation of definitions of “STEM-education” based on the results of analysis
 of foreign sources (compiled by I. N. Popova)

№	Значения определений (по результатам контекстно- семантического анализа) <i>Meanings of definitions (based on the results of contextual semantic analysis)</i>	Авторы <i>Authors</i>	Доля от числа проанализиро- ванных публи- каций (max = 100), % <i>Percentage of number of publications analysed (max = 100), %</i>
1	Образование в областях естественных наук, математики, инженерии, технологий <i>Education in the fields of science, math, engineering, technology</i>	J. A. Ramaley (2000) [1], J. Morrison (2006) [13], M. Honey et al. (2014) [14], T. Martin-Paez et al. (2019) [15], L. Zizka et al. (2020) [16], K. Khan, J. Mason (2021) [17] и др	17
2	Концепция подготовки специалистов новой генерации, ориентированных на новаторскую деятельность, основанных на развитии творческих способностей <i>The concept of training a new generation of innovation-oriented specialists based on the development of creative abilities</i>	C. Rozek et al. (2015) [18], М. Г. Успаева, А. М. Гачаев (2022) [11] и др.	5
3	Концепция формирования компетенций XXI века и преподавание предметов через моделирование реальной жизни <i>The concept of formation of competencies of the XXI century and teaching subjects through modelling of real life</i>	M. Lee et al. (2019) [19], Н. С. Сологуб, Е. Я. Аршанский (2020) [9], Z. Zhan et al. (2022) [8] и др.	7,5
4	Образование, основанное на интегративном подходе <i>Education based on an integrative approach</i>	M. Sanders (2009) [1], H. Wang et al. (2011) [20], K. A. Moore, T. J. Smith (2014) [21], R. Lamb et al. (2015) [22], T. R. Kelley, J. G. Knowles, (2016) [23], A.T. Estapa, K.M. Tank (2017) [24], E. H. Mohd Shahali et al. (2017) [25], J. Broggy et al. (2017) [4], Б. Т. Каримова, (2018) [5], N. S. Boon (2019) [6], M. Song (2020) [26], M. Ryu et al. (2019) [27], S. Blackley, J. Howell (2019) [28], Z. Zhan, S. Niu (2023) [12] и др.	35
5	Образование, ориентированное на развитие инновационного мышления и инновации <i>Education focused on the development of innovative thinking and innovation</i>	C. Meng et al. (2013) [29], Z. Zhan, S. Niu (2023) [12] и др.	5

6	Образование, опирающееся на методологию командной работы и проектирования в инженерном деле с применением соответствующих технологий <i>Education based on teamwork and design methodology in engineering using appropriate technologies</i>	J. M. Shaughnessy (2013) [30], J. T. Moore et al. (2014) [31], J. K. Lesseig et al. (2017) [32], J. S. Aydin-Gunbatar et al. (2018) [33] и др.	10
7	Образование как средство для устойчивого развития <i>Education as a tool for sustainable development</i>	V. Dam-Mieras et al. (2008) [30], T. Moore et al. (2014) [31], K. Lesseig et al. (2017) [32], S. Aydin-Gunbatar et al. (2018) [33] и др.	20

Полученные результаты анализа определений STEM-образования свидетельствуют о том, что доминирующими позициями в отношении STEM в современном мире являются интегративный и социально ориентированный подходы, обеспечивающие целостность во взгляде на природу научных процессов и социальных преобразований, устремленных к достижению в международном сообществе целей устойчивого развития.

Публикаций, определяющих суть категории «STEM-компетенции» и условий их формирования, значительно меньше. Но для нашего исследования они представляют большой интерес. В современных исследованиях под STEM-компетенциями понимаются:

- показатели, отражающие результаты освоения STEM-дисциплин (R. W. Bybee, 2019) [38];
- сквозные навыки для жизни в сложноорганизованном обществе, требующем постоянной готовности к решению возникающих проблем (W. Hu, X. Guo, 2021) [39];
- междисциплинарный феномен, основанный на совокупности навыков hard и soft skills, дополненных навыками, специфичными для конкретной профессии (M. J. Newell, P. N. Ulrich, 2022) [40];
- профессиональная ориентация и готовность к новаторской деятельности (C. Rozek et al., (2015), М. Г. Успаева, А. М. Гачаев (2022)) [18, 11].

Единого определения нет. Но стремление разобраться в структуре STEM-компетенций и их содержании объединяет многих авторов. Так, одним из основателей изучения навыков XXI века в сфере науки в зарубежной педагогике является R. W. Bybee (2006, 2009, 2010, 2019)^{1,2,3,4}. В его работах систематизированы такие компетенции, как адаптивность (умение справляться со стрессом на работе, адаптироваться к различным личностям, стилям общения), сложные коммуникативные/социальные навыки (навыки обработки и интерпретации вербальной и невербальной информации), решение нестандартных

¹Bybee R., Taylor J., et al. The BSCS 5E instructional model: origins and effectiveness. Accessed July 01, 2024. https://www.researchgate.net/publication/242363914_The_BSCS_5E_Instructional_Model_Origins_Effectiveness_and_Applications

²Bybee R.W. The BSCS 5E instructional model and 21st century skills. Accessed July 01, 2024. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3762641>

³Bybee R.W. Advancing STEM education: a 2020 vision. Technology and Engineering Teacher. 2010;70(1):30–35.

⁴Bybee R.W. Guest editorial: using the BSCS 5E instructional model to introduce STEM disciplines. Science and Children. 2019;56(6):8–12. doi:10.2505/4/sc19_056_06_8

задач посредством экспертного мышления, способность к метапознанию, системное мышление, креативность, позволяющую генерировать новые и инновационные решения, навыки самоменеджмента, способность работать в команде и др. [41, с. 3–4]. Описывая модель BSCS 5E¹, автор указывает на них как на качественный результат в процессе освоения STEM дисциплин [38].

Особого внимания заслуживают работы Н. Jang (2016) [42], М. J. Newell, P. N. Ulrich (2022) [40]. Н. Jang (2016) одной из первых в США удалось проанализировать содержание нормативных документов Департамента по труду США и соотнести с потребностями работодателей 109 умений, 7 категорий знаний и 27 видов трудовой деятельности в сфере STEM. Исследование Н. Jang является одним из наиболее глубоких в части анализа востребованности STEM-компетенций в условиях стремительного технологического роста с высоким потенциалом прогнозирования в развитии данного направления. На основе сбора и обработки эмпирических данных, полученных от работодателей, Н. Jang (2016) удалось сделать вывод о разрыве между образованием в области STEM и требуемыми навыками на рабочем месте, в частности недостаточной сформированности навыков решения проблем, системного мышления, инженерных навыков, а также управления временем и другими ресурсами.

Вслед за Н. Jang (2016) в результате проведенного исследования М. J. Newell, P. N. Ulrich (2022) свидетельствуют, что работодатели отмечают у соискателей STEM специальностей недостатки в более широких навыках трудоустройства, таких как работа в команде и общение [40]. Выводы авторов сходятся в одной значительной идее: «навыки STEM являются междисциплинарными и пересекаются с общими когнитивными и социальными навыками, общие навыки следует рассматривать в рамках STEM и дополнять их навыками, специфичными для конкретной профессии» [40, р. 80]. Таким образом, по мнению М. Akdere, L. Hickman, M. Kirchner (2019) [43], изучение и оценка STEM компетенций является важным шагом в совершенствовании моделей обучения в сфере STEM-образования.

Наиболее общую характеристику STEM-компетенциям дала Н. Jang (2016), констатируя, что «в глобальном контексте STEM-компетентность считается компетенцией XXI века» [42]. Это обобщенное высказывание не останавливает исследовательской активности международного сообщества исследователей в направлении проектирования идеальных моделей STEM-компетенций.

В настоящее время, стимулируемые результатами преодоления пандемии Covid-19, страны и регионы принимают рамочные модели STEM-компетенций и следуют им в движении к технологической самостоятельности и независимости. Так, в ходе виртуального семинара «Обмен опытом в области STEM-компетенций в Азии», состоявшегося в январе 2022 года в Сингапуре, была принята рамка STEM-компетенций для экономик пост-ковидной Азии, в том числе начиная с воспитания детей дошкольного возраста, включающая три блока компетенций:

¹BSCS (Biological Sciences Curriculum Study) – программа бакалавриата по биологическим наукам. Модель обучения 5E разработана в рамках BSCS и включает пять этапов: вовлечь, исследовать, объяснить, расширить, оценивать

- компетенции, обеспечивающие владение навыками на основе изучения STEM-дисциплин (Discipline-related skills), в том числе включающие научное, инженерно-конструкторское, логическое, математическое и вычислительное мышление, навыки организации исследования;
- компетенции для цифрового мира (Competencies for a digital world), базирующиеся на навыках программирования, цифровой грамотности и владением цифровых технологий;
- жизненные навыки (Life skills), проявляющиеся в интерпесональных компетенциях (личностных качествах «любопытство», «социальная эмпатия», «самотивированное обучение», «создание ценностей») и навыках решения проблем («адаптивность и гибкость», «креативность и инновационность», «критическое мышление», «проведение наблюдений», «системное мышление», «ориентация на обучение в течение всей жизни») [44, с. 2].

Опорой для оформления представленной концепции послужила политика и практика формирования в Азиатско-Тихоокеанском регионе сквозных компетенций [45], в рамках которой приоритетные позиции в многолетней ретроспективе для развития образования в условиях нового технологического уклада Индустрия 4.0 занимают навыки и компетенции, способствующие развитию технологий и инноваций. Это критическое и инновационное мышление, межличностные и внутриличностные навыки, глобальная гражданственность, медиа и информационной грамотность, и другие навыки, определенные странами и экономиками [46].

Вызывает интерес опыт Евросоюза (EU) и непосредственно научного отдела Совета Европы (Council of Europe) по созданию идеальных моделей компетенций для жизни в XXI веке, где STEM-компетенции интегрируются в содержание серии документов, определяющих современную государственную политику стран Европы: GreenComp (The European sustainability competence framework) [47], DigComp [48], LifeComp (The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence) [49]. В каждом из указанных документов особым образом выделены сегменты секторальных моделей, где так или иначе представлены STEM-компетенции. В ходе анализа данных документов можно выделить три блока компетенций:

- общие навыки: решение сложных проблем, критическое мышление, индивидуальное критическое мышление, индивидуальное обучение и постановка вопросов;
- мягкие навыки: креативность, предприимчивость, сотрудничество, устное общение и письменная коммуникация;
- специфические STEM-навыки: инженерный дизайн, экспериментирование и тестирование, применение знаний из областей STEM, системное мышление.

Опираясь на документы ЕС, группа норвежских и словенских ученых сформировали перечень STEM-компетенций из 30 наименований, необходимых для оценки в организациях при приеме на работу STEM-специалистов (A. Abina et al., 2024), [50, с. 11].

В научном обзоре Международного бюро по образованию UNESCO (2019) STEM-компетенции группируются в восемь содержательных блоков [6] и включают:

- когнитивные навыки, связанные с процессами мышления и обработки информации (выявление, сбор, обработка и использование соответствующих данных для принятия решений), критическое, творческое и аналитическое мышление, навыки решения проблем, научные исследования, креативность и вычислительное мышление;
- навыки обработки информации, обеспечивающие основу для интерпретации и анализа данных;
- навыки решения проблем и инженерное мышление;
- навыки организации научного исследования на основе формирования научных гипотез и их доказательств посредством экспериментирования;
- навыки вычислительного мышления и применения ИКТ;
- навыки дизайн-мышления, креативности и выработки инноваций;
- навыки эффективного сотрудничества и общения [6, p. 18–22];
- манипулятивные и технологические навыки, определяющие качество и безопасность использования научного и/или технического оборудования, аппаратуры, образцов и веществ, которые могут быть специфичны для конкретной профессии или специальности (G. Siekmann, P. Korbel, 2016) [51].

В Европейском сообществе в 2020–2022 годах был проведен масштабный экспериментальный проект, в рамках которого была создана Концептуальная схема оценки сквозных навыков в STEM (Assessment of Transversal Skills in STEM (ATS STEM)) [52, p. 41], объединяющая основные STEM-компетенции, для чего на основе исчерпывающего анализа литературы были сгруппированы 243 специфических STEM-навыка. В результате были выявлены следующие восемь основных компетенций: «решение проблем», «инновации и креативность», «коммуникация», «критическое мышление», «мета-когнитивные навыки», «сотрудничество», «саморегуляция», «дисциплинарные компетенции».

В США критерии оценки образовательных программ и содержательное наполнение STEM-компетенций для специалистов в сферах технологичных производств разработаны Аккредитационным советом по инженерным наукам и технологиям и представлены на портале ABET¹ (<https://www.abet.org/about-abet/>), гарантирующем стандарты качества выпускников, готовых к выходу на международный рынок труда. Здесь представлены критерии аккредитации и подтверждающие документы по направлениям подготовки прикладных и естественных наук (ANSAC), вычислительной техники (CAC), инженеров (EAC), инженерных технологий (ETAC) [53].

Исследования компетенций специалистов в разных направлениях STEM указывают на присутствие комплексов специфических показателей. Так,

¹ ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) – неправительственная организация по аккредитации программ послесреднего образования в области инженерии, инженерных технологий, вычислительной техники, а также прикладных и естественных наук. По состоянию на октябрь 2023 года ABET аккредитовано 4 674 программы 920 организаций из 42 стран мира.

STEM-компетентность инженера проявляется в техническом мышлении, логических рассуждениях и производстве продуктов, поставляемых на рынок (B. Lucas, J. Hanson, G. Claxton, 2014) [54]. В области исследований естественно-научной направленности STEM-компетентность проявляется в умении наблюдать явления, формировать и проверять гипотезы, оценивать их объективный уровень (N. S. Boon, 2019) [6]. STEM-компетентность математика проявляется в математическом мышлении, анализе эмпирических данных, программировании алгоритмов, использовании математических процессов для решения математических задач (J. M. Wing, 2006) [55].

Все перечисленные взгляды на комплексы STEM-компетенций свидетельствуют о наличии когнитивных и некогнитивных характеристик:

- когнитивные характеристики – знания в области STEM (эпистемологические, процедурные и технические, связанные с каждой дисциплиной STEM и органично встроенные в междисциплинарные концепции);
- некогнитивные характеристики – навыки самоорганизации, сотрудничества и общения, этические навыки, ценности и отношения.

Здесь также необходимо отметить, что в работах M. Marope (2017, 2018)^{1,2}, N. S. Boon (2019) отмечается, что в быстро меняющемся мире, где технологии развиваются беспрецедентными темпами, компетентность концептуализируется как способность к развитию, а не как набор фиксированных навыков. Исходя из чего STEM-компетентность означает «способность человека применять STEM-знания, навыки и отношение к ним в повседневной жизни, на рабочем месте или в образовательном контексте. STEM-компетентность не должна ограничиваться и развиваться в традиционных границах отдельных дисциплин» [6, p. 11].

Эти наблюдения зарубежных исследователей обладают высоким потенциалом для проектирования не только идеальных, но и функциональных моделей формирования STEM-компетенций, востребованных практикой современного профессионального образования.

Модели формирования и оценивания STEM-компетенций: результаты аналитического обзора

Для функционального применения идеальных моделей STEM-компетенций в системе профессионального образования при подготовке специалистов в сфере высокотехнологичных производств образовательные организации разрабатывают и апробируют целевые модели формирования STEM-компетенций с учетом специфики содержания обучения по конкретным направлениям и специальностям. Среди представленных в зарубежных научных публикациях, апробированных в системе вузовского образования моделей, выделяются своей обоснованностью подходов и системностью внедрения мо-

¹ Marope M. 2017. Future Competences for Future Generations. Geneva: IBE-UNESCO; 2017:81–89.

² Marope M., Griffin P., Gallagher C. Future Competences and the Future of the Curriculum: A Global Reference for the Transformation. Accessed July 03, 2024. https://fundaciobofill.cat/uploads/old-files/BOOK_COMPLETE_future_competences_and_the_future_of_curriculum.pdf

дели STEM-образования Массачусетского технологического института (США) [56], Шэньсийского педагогического университета (г. Сиань), Научно-исследовательского института естественного образования, Пекинского педагогического университета, Южно-китайского педагогического университета, Гуанчжоу (КНР) [39; 57], Барселонской школы информатики Политехнического университета Каталонии (UPC-BarcelonaTech) (Испания, EU) [58] и др.

Одной из самых распространенных и признанных международным сообществом в системе профессионального образования является модель CDIO¹, разработанная специалистами Массачусетского технологического института (США) в сотрудничестве с тремя шведскими университетами — Технологическим университетом Чалмерса, Университетом Линчепинга и Королевским технологическим институтом КТН. Идея CDIO, закрепленная в формуле «Задумывать – проектировать – внедрять – эксплуатировать», основывается на практико ориентированном обучении и ориентации на результат. Модель реализуется посредством сочетания контекстного инженерного образования, проблемного и активного обучения, направленного на достижение технических знаний, личных и профессиональных качеств, навыков межличностного общения и навыков, характерных для профессии инженера [56].

Общая цель CDIO – обобщить набор знаний, навыков и установок, которые выпускники, промышленность и академические круги хотели бы видеть в будущем поколении молодых инженеров. В стремлении достичь поставленной цели модель инженерного образования CDIO реализуется в США, Швеции, Франции, Испании, Вьетнаме, Китайской Народной Республике.

Наряду с применением модели CDIO в Китае и Испании активно разрабатываются авторские модели STEM-образования. Так, в статье B. Zhong, X. Liu, L. Xia, W. Sun (2022) подробно описаны модели STEM-образования на основе реализации конструктивного подхода и проектной деятельности («проектное обучение (PBL)», «обратный инжиниринг», «научное исследование», «устранение неполадок/отладка»), позволяющие преподавателю быть гибким и мобильным в организации образовательного процесса [57]. Данные модели апробированы в образовательном процессе Южно-китайского педагогического университета (Гуанчжоу, Китай). В статье детально представлены примеры применения указанных моделей в практике робототехнического конструирования.

Другую оригинальную модель STEM-образования представляют коллеги Шэньсийского педагогического университета (г. Сиань) и Научно-исследовательского института естественного образования Пекинского педагогического университета (W. Hu, X. Guo, 2021) [39]. Это модель, построенная на «теории обучения, основанном на мышлении» (TBIT), которая, по мнению авторов, предназначена чтобы помочь глубже понять суть учебных программ STEM. Данная модель предназначена для преодоления ключевой проблемы STEM-образования: отсутствие глубокого понимания междисциплинарных концепций и природы научных практик. Для достижения поставленной цели

¹CDIO (Conceiving, Designing, Implementing, Operating) – проектный метод обучения, разработанный для подготовки инженеров нового поколения.

авторы предлагают интеграцию междисциплинарного содержания учебной программы вокруг ключевых идей, что создает контекстное образовательное пространство, обеспечивает условия для разработки междисциплинарного контента и способствует аутентичности образования. Оценка результатов в рамках данной модели осуществляется путем наблюдения прогресса обучения как поступательного непрерывного развития понимания основных идей, структуры содержания и путей развития знаний. Настоящая модель требует от преподавателя глубины постижения специфики когнитивных процессов и необходимости их учета для методической организации практики познания.

Системностью и четкой структурированностью выделяется модель STEM-образования, разработанная и апробированная специалистами Барселонской школы информатики Политехнического университета Каталонии (UPC-BarcelonaTech, Испания). F. S. Carracedo, A. Soler, C. Martin et al. (2018) предлагают модель глобального развития профессиональных компетенций в рамках программы подготовки специалистов в области STEM на основе применения карт компетенций [58]. Модель была оформлена с опорой на таксономию Блума с применением уровневого подхода к проектированию содержания и оценке результатов обучения на уровнях «знания», «понимание» и «практика применения». В процессе апробации была установлена высокая результативность описанной модели.

Однако проблема оценки сформированности STEM-компетенций даже при условии применения самых качественных моделей обучения остается не разрешенной. По мнению S. Arıkan, M. Pesen, E. Erktin (2023), «наиболее важной проблемой в оценке компетенций STEM является отсутствие междисциплинарной системы оценки» [59, р. 2]. Однако попытки справиться с данной проблемой предпринимаются. Так, в статье X. Gao, P. Li, J. Shen, H. Sun (2020) предлагается использовать двумерный подход на основе выделения сначала характера дисциплин (моно-дисциплины, междисциплинарные предметы, трансдисциплинарные предметы) и предметы оценивания (знания, умения, практику и личностные характеристики) [60]. Результаты исследования, проведенного на основе обзора 49 эмпирических работ, показали, что из-за того, что доминирующим остается подход преподавания на основе отдельных дисциплин, оценка знаний и личностных характеристик обеспечивается лишь внутри отдельных предметов. Исходя из этого, обозначенный в статье междисциплинарный подход к формированию STEM-компетенций и оценочные методы не соответствуют заявленным целям.

В этой связи интерес представляет разработка индонезийских коллег (Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia) в предложении подходов к оценке результатов STEM-образования [61]. В статье индонезийской группы исследователей D. Ardianto, H. Firman, A. Permanasari, T. R. Ramalis (2018) для оценки результатов STEM-образования предлагается модель STEM-грамотности (STEM Literacy) [61]. Здесь выделяют компетенции из областей STEM и комплексные компетенции. К компетенциям STEM-областей относятся: научная грамотность – Science Literacy (SL), математическая грамотность – Mathematic

Literacy (ML), технологическая и инженерная грамотность – Technology and Engineering Literacy (TEL). Согласно данной модели комплексными компетенциями являются научно-математическая грамотность (Science Mathematic Literacy (SML)), научно-технологически-инженерная грамотность (Science, Technology & Engineering Literacy (STEL) и математико-технологически-инженерная грамотность (Mathematic, Technology & Engineering Literacy (MTEL)) [61, p. 382]. Динамический аспект модели позволяет оценивать STEM-грамотность с точки зрения содержания освоения STEM-областей («Наука, технология и общество»; «Дизайн и системы»; «Математика») и опыта практики, связанной с пониманием, как развиваются научные знания и технологии, а также специфики работы STEM-специалистов [61, p. 383].

Несмотря на то что описанный опыт разработки модели оценки STEM-компетенций обладает потенциалом оригинального авторского замысла, он не лишен недостатков. Основными из них являются отсутствие верификации и описания практики внедрения модели в образовательных организациях. В этом плане работы, представляющие надежные стандартизированные инструменты, находятся в большом дефиците. На уровне школьного образования в качестве примеров, отражающих попытки стандартизации оценочного инструментария, выделяются публикации E. E. Turner et al. (2022) [62], S. Arıkan, M. Pesen, E. Erktin (2022, 2023) [59; 63]. В системе профессионального образования апробированные на локальных выборках и верифицированные инструменты оценки STEM-компетенций у студентов профильных инженерно-технологических вузов единичны и описаны в научных статьях F. Sánchez Carracedo, A. Soler, C. Martínet et al. (2018) [58] и S. M. Coello Pisco, B. Rodríguez et al. (2024) [64].

Имеющийся опыт моделирования процессов формирования и оценивания STEM-компетенций в условиях профессионального образования потенциально может представлять интерес для развития STEM-образования в системе высшего и среднего профессионального образования, в части проектирования систем образования, образовательных программ, инструментов оценки полученных результатов.

Факторы формирования STEM-компетенций: обсуждение результатов

Проведенный анализ научных исследований позволил нам систематизировать факторы формирования STEM-компетенций на ступени профессионального образования. Все выделенные зарубежными коллегами влияния мы сгруппировали в три блока факторов: макро-, мезо- и микро-факторы.

Макро-факторы авторы связывают с глобальными тенденциями и процессами, а также стратегиями развития национальной политики стран в сфере STEM. На влияние нового технологического уклада Индустрия 4.0 и глобальных процессов, связанных с воздействием тотальной технологизации на все сферы жизни человека, указывают L. D. English, (2017), B. Zhong, X. Liu, L. Xia, W. Sun (2022), S. M. Coello Pisco, B. Rodríguez, L. Banguera, E. Baidal (2024) и др. По

мнению L. D. English (2017), развитие STEM-образования обусловлено сложной политикой, повсеместно возрастающими экономическими, социальными и экологическими проблемами, которые требуют комплексных и междисциплинарных решений [65]. Многочисленные авторы указывают на роль группы макро-факторов в развитии отраслевых направлений. В частности, C. S. Lai (2018) подчеркивает значимость развития образовательной политики [66], Y. Wang, W. Wang (2024) свидетельствуют о роли STEM в «зеленой» политике и решении вопросов экологии [67], E. Lariba (2024) отмечает специфические аспекты политики подготовки кадров к решению глобальных задач современного мира, в том числе в части преодоления гендерных проблем [68].

Мезо-факторы – это пласт влияний, связанных с развитием науки и образования как системы подготовки человека к жизни и труду в условиях нового технологического уклада и ориентированных на формирование отношения к STEM, как с точки зрения широкого общественного восприятия, так и с позиции профессионального сообщества. Под постоянным воздействием развития новых технологий и глобализации интеграция во всех областях науки и техники становится определяющим фактором развития STEM (Z. Zhan, S. Niu, 2023) [12, p. 5]. В этой группе факторов формирования STEM-компетенций на этапе профессионального образования особое значение имеет сотрудничество с производством и предприятиями как условия оперативного реагирования на изменения в содержании программ и процесса подготовки кадров. На это важное обстоятельство обращают внимание E. Taylor (2019) [69], S. Fan, K. Yu (2016) [70] и др.

В данную группу факторов входит экспериментальная разработка и апробация моделей подготовки STEM-кадров в условиях профессионального образования. Моделирование условий формирования STEM-компетенций естественным образом стимулирует разработку образовательных технологий и инструментов, способствующих результативности образовательного процесса.

В этом сегменте мезо-факторов публикации представлены достаточно широко. Авторы описывают приборы, устройства, макеты, обеспечивающие демонстрацию STEM-процессов. В содержании научных статей представлены робототехнические практики (B. Zhong et al., 2022) [57], модели интерактивных и адаптируемых сред электронного обучения (Y. Cherner et al., 2019) [71], испытательные стенды моделей «умного дома» (Q. Hu et al., 2015) [72], практики визуального программирования (S. Blackley, J. Howell, 2019) [28], опыт работы STEM-центров в условиях формального и неформального образования (N. R. Balyk et al., 2022) [73] и многое другое.

Микро-факторы указывают на влияние интерпсихических особенностей личности человека как субъекта формирования STEM-компетенций, обладающего потенциалом когнитивного и некогнитивного характера. В определении данной группы факторов в публикациях доминируют такие категории, как «когнитивная нагрузка», «мотивация и производительность» (G. Kao, C. Ruan, 2022) [74], «креативность» (E. B. Altan, S. Tan, 2021; Z. Zhan et al., 2023) [75; 76], «вычислительное мышление» (D. Weintrop et al., 2016) [77], «проектное мышление» (T. Li, Z. Zhan, 2022) [78], другие мыслительные навыки (анализ, синтез, оценка)

(R. Gadot, D. Tsybulsky, 2023) [79]. В данную группу факторов вошли такие навыки, как межкультурная коммуникация (M. Akdere et al., 2021) [80], самоорганизация, дисциплина, ответственность, этические навыки (E. A. Clancy, P. Quinn et al., 2005) [81], навыки работы в команде (Z. Zhan et al., 2023) [76, p. 9] и др.

В системе факторов формирования STEM-компетенций, выделенных авторами, детализация показателей усматривается во всех трех блоках. Визуально полученные результаты их систематизации представлены на рисунке 1.

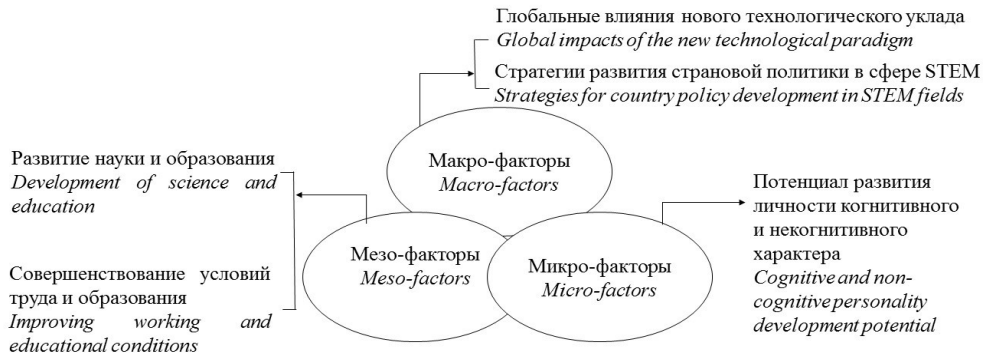


Рис. 1. Факторы формирования STEM-компетенций в зарубежных исследованиях (составлено И. Н. Поповой)

Fig. 1. Factors of formation of STEM competencies in international studies (compiled by I. N. Popova)

Из выше обозначенных условий далеко не все в полной мере работают на качество и развитие STEM-образования в системе профессионального образования. Наибольшее число публикаций посвящено проблемам готовности педагогов к реализации STEM-образования. Авторы указывают либо на отсутствие, либо на проблемы реформирования образовательных программ (V. Uskoković, 2023) [82], методического и технологического обеспечения образовательного процесса (S. Z. SalasPilco et al., 2022; M. A. Conde et al., 2021) [83; 84], проблемы методики преподавания (K. C. Li, B. T. M. Wong, 2023) [85], наличие затруднений в оценке результатов STEM-образования (S. Arkan, M. Pesen, E. Erktin, 2023) [59]. Данные проблемы коррелируют с общей тенденцией выраженных дефицитов методической компетентности педагогов профессионального обучения (I. Donmez, 2020; M. A. Conde et al., 2021; A. A. Коновалов, 2023 и др.) [86; 84; 87].

По мнению I. Donmez (2020), фундамент существующих проблем в части готовности педагогов к решению задач STEM-образования составляет отсутствие единой научно обоснованной методологии в данной сфере педагогической деятельности [86]. Доминирующая идея интегративности природы STEM-дисциплин нуждается в разработке, детализации и описании механизмов интеграционных процессов и инструментов по их реализации, в том числе в условиях профессионального образования (E. Perignat, J. Katz-Buonincontro,

2019; М. В. Солодихина и А. А. Солодихина, 2019; Z. Zhan et al., 2022; Z. Zhan, S. Niu, 2023) [88; 89; 8; 12]. Немногочисленными являются публикации о роли педагога в организации образовательного процесса на интегративной основе (R.-A. Popa, L. Ciascai, 2017) [90].

В настоящее время STEM-педагогика находится на этапе накопления эмпирического материала, описывающего единичные примеры из опыта и практики организации STEM-уроков/занятий и нуждается в систематизации накопленного знания (Г. Г. Ахметов, 2021) [91]. Охарактеризованные выше проблемы и затруднения во многом составляют барьеры развития STEM-образования и мотивируют педагогическую науку к поиску путей и способов их преодоления, очевидной перспективой развития которой, по мнению Z. Zhan, S. Niu (2023), является рождение культуры STEM как «новой перспективы понимания» данной проблематики [12, р. 1].

Заключение

Проведенное на основе анализа зарубежного опыта STEM-образования исследование позволило отразить широту научного интереса к данной сфере и ответить на ряд обозначенных в начале статьи вопросов:

- о научных взглядах на определение сущности феномена STEM-образования и STEM-компетенций;
- о существующих моделях формирования и инструментах оценки STEM-компетенций;
- о факторах, оказывающих влияние на формирование STEM-компетенций на ступени профессионального образования.

Разнообразие подходов к определению значения понятия «STEM-компетенции» и оформления его структуры в условиях профессиональной подготовки кадров позволяет свидетельствовать о том, что STEM-компетенции в системе профессионального образования – это полимодальный феномен, объединяющий когнитивные и некогнитивные характеристики, процессуально-динамичный по своей сути и определяющий специфику деятельности субъекта интегративных процессов в условиях профессиональной подготовки и самореализации на новой ступени технологического уклада жизни современного общества.

В итоге очевидно, что накопленный международным сообществом потенциал развития STEM-образования существует и требует работы в данном направлении. Здесь наиболее перспективными для науки и практики являются:

- обоснование методологии STEM-педагогики на основе междисциплинарности и интегративности природы STEM как научного основания развития образования по направлениям подготовки STEM-кадров с детализацией особенностей его технологического и методического обеспечения;
- поддержка научного обсуждения появляющихся авторских моделей формирования STEM-компетенций на разных ступенях профессионального образования;

– стимулирование создания, апробации и верификации психометрического инструментария оценки STEM-компетенций специалистов инженерных и иных высокотехнологичных областей профессиональной деятельности на всех этапах профессиональной подготовки и самореализации.

В части профессиональной рефлексии полученных на основе анализа зарубежных источников результатов полезным представляется очерчивание перспектив дальнейшего исследования в заданном направлении. Здесь чрезвычайно полезным может стать проведение аналитического обзора современных российских источников в рамках изучения проблематики STEM-образования как необходимого условия движения в направлении развития технологического суверенитета. В этой связи для анализа развития STEM-образования на российской почве особый интерес могут представлять следующие аспекты:

– специфика оформления национальной модели STEM-образования как основания государственной политики, направляющей векторы развития организаций среднего и высшего профессионального образования на системной основе в решении задач достижения технологического суверенитета;

– разработка научно-методического обеспечения развития STEM-образования, в частности образовательных программ и инструментов оценки STEM-компетенций по итогам обучения и подготовки специалистов по направлениям критических и сквозных технологий;

– изучение и диссеминация опыта моделирования условий формирования STEM-компетенций в образовательных организациях на разных ступенях профессионального образования;

– мотивация государственной и социальной активности в поддержку STEM-образования, в том числе посредством поощрения создания организаций и сообществ STEM любителей и профессионалов.

Список использованных источников

1. Sanders M. STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*. 2009;68:20–26. Accessed July 01, 2024. https://www.researchgate.net/publication/237748408_STEM_STEM_education_STEMmania
2. Buchholz K. *Where Students Choose STEM Degrees*. Accessed July 01, 2024. <https://www.statista.com/chart/22927/share-and-total-number-of-stem-graduates-by-country/>
3. *The Future of Jobs Report 2023*. 296 p. Accessed July 01, 2024. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
4. Broggy J., O'Reilly J., Erduran S. Interdisciplinarity and science education. In: Taber K.S., Akpan B., eds. *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. Rotterdam: SensePublishers; 2017:81–90. doi:10.1007/978-94-6300-749-8_6
5. Каримова Б.Т. STEM-обучение – инновационный подход в современном образовании. *Innovation Management and Technology in the Era of Globalization: Materials of the International Conference*; 2018. Alexandria – Sharm El Sheikh, Egypt; 2018:107–110.
6. Boon N.S. Exploring STEM competences for the 21st-century. *UNESCO International Bureau of Education*. 2019;30:1–53. Accessed July 02, 2024. <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/6641>

7. Le Q., Le H., Vu C., Nguyen N., Nguyen A., Vu N. Integrated science, technology, engineering and mathematics (STEM) education through active experience of designing technical toys in Vietnamese schools. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*. 2015;11(2):1–12. doi:10.9734/BJESBS/2015/19429
8. Zhan Z., Shen W., Xu Z., Niu S., You G. A bibliometric analysis of the global landscape on STEM education (2004–2021): towards global distribution, subject integration, and research trends. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2022;16(2):171–203. doi:10.1108/APJIE-08-2022-0090
9. Сологуб Н.С., Аршанский Е.Я. STEM-образование: сущность и анализ идеи в исторической ретроспективе. *Весті БДПУ. Серія 1*. 2020;2:15–18. Режим доступа: https://elib.bspu.by/bitstream/doc/50479/1/vesti_2_%D0%A1%D0%B5%D1%80%201%20220620_0015-0018.pdf (дата обращения: 01.07.2024).
10. Campbell C., Speldewinde C. Early childhood STEM education for sustainable development. *Sustainability*. 2022;14(6). doi:10.3390/su14063524
11. Успаева М.Г., Гачаев А.М. STEM-образование: научный дискурс и образовательные практики. *Управление образованием: теория и практика*. 2022;12(9). doi:10.25726/q3562-6842-6568-b
12. Zhan Z., Niu S. Subject integration and theme evolution of STEM education in K-12 and higher education research. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2023;10(1). doi:10.1057/s41599-023-02303-8
13. Morrison J. Attributes of STEM education: the student, the school, the classroom. *TIES Teaching Institute for Excellence in STEM*. 2006:2–7. Accessed June 01, 2024. http://www.leadingpbl.org/f/Jans%20pdf%20Attributes_of_STEM_Education-1.pdf
14. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: National Academies Press; 2014. 180 p. Accessed June 01, 2024. <https://www.middleweb.com/wp-content/uploads/2015/01/STEM-Integration-in-K12-Education.pdf>
15. Martin-Paez T., Aguilera D., Perales-Palacios F.J., Vílchez-González J.M. What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*. 2019;103(4):799–822. doi:10.1002/sce.2152
16. Zizka L., McGunagle D.M., Clark P.J. Sustainability in science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs: authentic engagement through a community-based approach. *Journal of Cleaner Production*. 2020;279(3). doi:10.1016/j.jclepro.2020.123715
17. Khan K., Mason J. The M in STEM and issues of data literacy. In: *Proceedings of the 29th International Conference on Computers in Education: Asia-Pacific Society for Computers in Education*. 2021:632–637. Accessed June 10, 2024. <https://icce2021.apsce.net/wp-content/uploads/2021/12/ICCE2021-Vol.I-PP-632-637.pdf>
18. Rozek C.S., Hyde J.S., Svoboda R.C., Hullema C.S., Harackiewicz J.M. Gender differences in the effects of a utility-value intervention to help parents motivate adolescents in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*. 2015;107:195–206. doi:10.1037/a0036981
19. Lee M., Hsu C., Chang C. Identifying Taiwanese teachers' perceived self-efficacy for science, technology, engineering, and mathematics (STEM) knowledge. *Asia-Pacific Education Researcher*. 2019;28(1). doi:10.1007/s40299-018-0401-6
20. Wang H., Moore T.J., Roehrig G.H., Park M.S. STEM integration: teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*. 2011;1(2). doi:10.5703/1288284314636
21. Moore K.A., Smith T.J. Advancing the state of the art of STEM integration. *Journal of STEM Education*. 2014;15(1):5–10. Accessed June 08, 2024. https://www.researchgate.net/publication/294427783_Advancing_the_State_of_the_Art_of_STEM_Integration

22. Lamb R., Akmal T., Petrie K. Development of a cognition-priming model describing learning in a STEM classroom. *Journal of Research in Science Teaching*. 2015;52(3):410–437. doi:10.1002/tea.21200
23. Kelley T.R., Knowles J.G. A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2016;3(11). doi:10.1186/s40594-016-0046-z
24. Estapa A.T., Tank K.M. Supporting integrated STEM in the elementary classroom: a professional development approach centered on an engineering design challenge. *International Journal of STEM Education*. 2017;4(6). doi:10.1186/s40594-017-0058-3
25. Mohd Shahali E.H., Halim L., Rasul M.S., Osman K., Zulkifeli M.A. STEM learning through engineering design: impact on middle secondary students' interest towards STEM. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2017;13(5):1189–1211. doi:10.12973/eurasia.2017.00667a
26. Song M. Integrated STEM teaching competencies and performances as perceived by secondary teachers in South Korea. *International Journal of Comparative Education and Development*. 2020;22(2):131–146. doi:10.1108/IJCED-02-2019-0016
27. Ryu M., Mentzer N., Knobloch N. Preservice teachers' experiences of STEM integration: challenges and implications for integrated STEM teacher preparation. *International Journal of Technology and Design Education*. 2019;29(3):493–512. doi:10.1007/s10798-018-9440-9
28. Blackley S., Howell, J. The next chapter in the STEM education narrative: using robotics to support programming and coding. *Australian Journal of Teacher Education*. 2019;44(4):51–64. doi:10.14221/ajte.2018v44n4.4
29. Meng C., Idris N., Leong K.E., Daud M. Secondary school assessment practices in science, technology and mathematics (STEM) related subjects. *Journal of Mathematics Education*. 2013;6(2):58–69. Accessed July 08, 2024. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2431552
30. Shaughnessy J.M. Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle School*. 2013;18(6):324–324. doi:10.5951/mathteachmidscho.18.6.0324
31. Moore T., Stohlmann M., Wang H., Tank K., Glancy A., Roehrig G. Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In: Purzer S., Strobel J., Cardella M., eds. *Engineering in Pre-College Settings: Synthesizing Research, Policy, and Practices*. West Lafayette: Purdue University Press; 2014:35–60. Accessed July 12, 2024. https://www.researchgate.net/publication/273458545_Implementation_and_integration_of_engineering_in_K-12_STEM_education
32. Lesseig K., Slavitt D., Nelson T.H. Jumping on the STEM bandwagon: how middle grades students and teachers can benefit from STEM experiences. *Middle School Journal*. 2017;48(3):15–24. doi:10.1080/00940771.2017.1297663
33. Aydin-Gunbatar S., Tarkin-Celikkiran A., Kutucu E.S., Ekiz-Kiran B. The influence of a design-based elective stem course on pre-service chemistry teachers' content knowledge, STEM conceptions, and engineering views. *Chemistry Education Research and Practice*. 2018;19(3):954–972. doi:10.1039/C8RP00128F
34. Van Dam-Mieras R., Lansu A., Rieckmann M. et al. Development of an interdisciplinary, intercultural master's programme on sustainability: learning from the richness of diversity. *Innovative Higher Education*. 2008;32(5):251–264. doi:10.1007/s10755-007-9055-7
35. Gamage K.A.A., Ekanayake S.Y., Dehideniya S.C.P. Embedding sustainability in learning and teaching: lessons learned and moving forward – approaches in STEM higher education programmes. *Education Sciences*. 2022;12(3). doi:10.3390/educsci12030225
36. González-Gómez D., Jeong, J.S. Approaches and methods of science teaching and sustainable development. *Sustainability*. 2022;14. doi:10.3390/su14031546
37. Dehideniya D.M.S.C.P.K., Ekanayake S.Y. Approaching sustainability competency development through online STEM-based science teaching-learning. *Global Comparative Education: Journal of the*

- WCCES. 2023;7(2). Accessed July 12, 2024. https://www.researchgate.net/publication/356391304_Online_STEM_Based_Science_Teaching-Learning_Experience
38. Bybee R.W. Guest editorial: using the BSCS 5E instructional model to introduce STEM disciplines. *Science and Children*. 2019;56(6):8–12. doi:10.2505/4/sc19_056_06_8
 39. Hu W., Guo X. Toward the development of key competencies: a conceptual framework for the STEM curriculum design and a case study. *Frontiers in Education*. 2021;6. doi:10.3389/feduc.2021.684265
 40. Newell M.J., Ulrich P.N. Competent and employed: STEM alumni perspectives on undergraduate research and NACE career-readiness competencies. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*. 2022;13(1):79–93. doi:10.21153/jtlge2022vol13no1art1534
 41. Bybee R.W. *The BSCS 5E Instructional Model and 21st Century Skills. Executive Summary*. USA; 2006. 19 p. Accessed July 12, 2024. https://media.bsccs.org/bsccsmw/5es/bscs_5e_executive_summary.pdf
 42. Jang H. Identifying 21st century STEM competencies using workplace data. *Journal of Science Education and Technology*. 2016;25:284–301. doi:10.1007/s10956-015-9593-1
 43. Akdere M., Hickman L., Kirchner M. Developing leadership competencies for STEM fields: the case of Purdue Polytechnic Leadership Academy. *Developing Human Resources*. 2019;21(1):49–71. doi:10.1177/1523422318814546
 44. Yann Sh.O., Neo M. *Sharing STEM Competencies Practices in Asia Seminar Proceeding*. Singapore: Multi-centric Education, Research and Industry STEM Centre; National Institute of Education; Nanyang Technological University; 2022. 125 p. Accessed July 12, 2024. <https://www.researchgate.net/publication/364313302>
 45. Care E., Luo R. *Assessment of Transversal Competencies: Policy and Practice in the Asia-Pacific Region*. UNESCO; 2016. 63 p. Accessed July 12, 2024. <https://www.researchgate.net/publication/313761634>
 46. *Preparing & Supporting Teachers to Meet the Challenges of 21st Century Learning in Asia-Pacific. Transversal Competencies in Education Policies and Practice*. UNESCO; 2016. 4 p. Accessed July 12, 2024. <https://gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/180312eng.pdf>
 47. Bianchi G., Pisiotis U., Giraldez M.C. *GreenComp – The European Sustainability Competence Framework*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2022. 56 p. doi:10.2760/13286
 48. *European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Key Competences for Lifelong Learning*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019. 20 p. Accessed July 10, 2024. <https://makemothersmatter.org/wp-content/uploads/2019/11/KEY-COMPETENCES-FOR-LIFELONG-LEARNING-Mars-2019.pdf>
 49. Sala A., Punie Y., Garkov V., Carbera M. *LifeComp The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence. JRC Science for Policy Report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. European Commission; 2020. 84 p. doi:10.2760/302967
 50. Abina A., Temeljotov Salaj A., Cestnik B., Karalič A., Ogrinc M., Kovačič Lukman R., Zidanšek A. Challenging 21st-century competencies for STEM students: companies' vision in Slovenia and Norway in the light of global initiatives for competencies development. *Sustainability*. 2024;16. doi:10.3390/su16031295
 51. Siekmann G., Korbel P. *Defining “STEM” Skills: Review and Synthesis of the Literature*. Adelaide: National Centre for Vocational Education Research (NCVER); 2016. 56 p. Accessed July 15, 2024. https://www.ncver.edu.au/_data/assets/pdf_file/0022/61339/Support-doc-1-Defining-STEM-skills-review-and-synthesis-of-the-literature.pdf
 52. McLoughlin E., Butler D., Kaya S., Costello E. *STEM Education in Schools: What Can We Learn from the Research?* Ireland: Dublin City University; 2020. 134 p. doi:10.5281/zenodo.3673728
 53. *Accreditation Criteria & Supporting Documents (ABET)*. Accessed July 15, 2024. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/>

54. Lucas B., Hanson J., Claxton G. *Thinking Like an Engineer: Implications for the Education System*. UK: The Royal Academy of Engineering; 2014. 88 p. Accessed July 16, 2024. <https://raeng.org.uk/media/brijknt3/thinking-like-an-engineer-full-report.pdf>
55. Wing J.M. Computational thinking. *Communications of The ACM*. 2006;49(3):33–35. doi:10.1145/1118178.1118215
56. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D.R., Edström K. *Rethinking Engineering Education. The CDIO Approach*. 2nd ed. Switzerland: Springer International Publishing; 2014. 311 p. Accessed July 16, 2024. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-05561-9>
57. Zhong B., Liu X., Xia L., Sun W. A proposed taxonomy of teaching models in STEM education: robotics as an example. *Sage Open*. 2022;12(2). doi:10.1177/21582440221099525
58. Carracedo F.S., Soler A., Martin C., et al. Competency maps: an effective model to integrate professional competencies across a STEM curriculum. *Journal of Science Education and Technology*. 2018;27:448–468. Accessed July 16, 2024. <https://rdcu.be/NbGx>
59. Arıkan S., Pesen M., Erktin E. STEM yeterlikleri değerlendirme çerçevesinin 4. sınıf düzeyi için uyarlanması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi (PAÜEFD)*. 2023;60:201–225. doi:10.9779/pauefd.1249861
60. Gao X., Li P., Shen J., et al. Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2020;7. doi:10.1186/s40594-020-00225-4
61. Ardianto D., Firman H., Permanasari A., Ramalis T.R. What is science, technology, engineering, mathematics (STEM) literacy? *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 2018:381–384. doi:10.2991/aes-18.2019.86
62. Turner E.E., Roth McDuffie A., Bennett A.B., Aguirre J., Chen M.K., Foote M.Q., Smith J.E. Mathematical modeling in the elementary grades: developing and testing an assessment. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2022;20(7):1387–1409. doi:10.1007/s10763-021-10195-w
63. Arıkan S., Erktin E., Pesen M. Development and validation of a STEM competencies assessment framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2022;20:1–24. doi:10.1007/s10763-020-10132-3
64. Coello Pisco S.M., Rodríguez B., Banguera L., Baidal E. Research skills R+D+I and industry 4.0, STEM and TRIZ and their application in the professional skills of applied physics students. *Revista Mexicana de Física E*. 2024;21(1). doi:10.31349/RevMexFisE.21.010212
65. English L.D. Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2017;15(1):5–24. doi:10.1007/s10763-017-9802-x
66. Lai C.S. Using inquiry-based strategies for enhancing students' STEM education learning. *Journal of Education in Science Environment and Health*. 2018;4(1):110–117. doi:10.21891/jeseh.389740
67. Wang Yu., Wang W. How green industrial policy affects the constancy of green technology innovation: a fresh proof from the innovation motivation perspective. *Environmental Research Communications*. 2024;6(3). doi:10.1088/2515-7620/ad35ac
68. Lariba E. Gender dynamics in STEM fields: women's experiences in different cultural contexts. *Journal of Advanced Sociology*. 2024;5(2):15–29. doi:10.47941/jas.1857
69. Taylor E. Investigating soft skills development at a higher education institution in South Africa. In: *Conference: ICEEL 2019: 2019 3rd International Conference on Education and E-Learning*. 2019:140–146. doi:10.1145/3371647.3371669
70. Fan S., Yu K. Core value and implementation of the science, technology, engineering, and mathematics curriculum in technology education. *Journal of Research in Education Sciences*. 2016;61(2):153–183. doi:10.6209/JORIES.2016.61(2).06
71. Cherner Y., Witus G., Uhomoihi J., Cherner T., Van Dyke B., Popova I., Wang H. *Interactive and Adaptable Mobile-Friendly e-Learning Environments for K-12 and Higher STEM Education and Skills*

- Training. Advances in Intelligent Systems and Computing. Mobile Technologies and Applications for the Internet of Things*. Cham: Springer Link; 2019:235–247. doi:10.1007/978-3-030-11434-3_27
72. Hu Q., Li F., Chen C. A smart home test bed for undergraduate education to bridge the curriculum gap from traditional power systems to modernized Smart Grids. *IEEE Transactions on Education*. 2015;58(1):32–38. doi:10.1109/TE.2014.2321529
 73. Balyk N.R., Shmyger G.P., Vasilenko Ya.Ph., Oleksiuk V.P. STEM centre as a factor in the development of formal and non-formal STEM education. In: *Journal of Physics: Conference Series. XIV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education*; May 18–20, 2022; Kryvyi Rih, Ukraine. doi:10.1088/1742-6596/2288/1/012030
 74. Kao G.Y.M., Ruan C.A. Designing and evaluating a high interactive augmented reality system for programming learning. *Computers in Human Behavior*. 2022;132(6). doi:10.1016/j.chb.2022.107245
 75. Altan E.B., Tan S. Concepts of creativity in design based learning in stem education. *International Journal of Technology and Design Education*. 2021;31:503–529. doi:10.1007/s10798-020-09569-y
 76. Zhan Z., Xiao Y., Li T. Effects of association interventions on students' creative thinking, aptitude, empathy, and design scheme in a STEAM course: considering remote and close association. *International Journal of Technology and Design Education*. 2023;33(5):1773–1795. doi:10.1007/s10798-022-09801-x
 77. Weintrop D., Beheshti E., Horn M., Orton K., Jona K., Trouille L., Wilensky U. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*. 2016;25:127–147. doi:10.1007/s10956-015-9581-5
 78. Li T., Zhan Z. A systematic review on design thinking Integrated Learning in K-12 education. *Applied Sciences*. 2022;12(16). doi:10.3390/app12168077
 79. Gadot R., Tsybulsky D. Digital curation as a pedagogical approach to promote critical thinking. *Journal of Science Education and Technology*. 2023;32(2). doi:10.1007/s10956-022-10016-x
 80. Akdere M., Acheson K., Jiang Y. An examination of the effectiveness of virtual reality technology for intercultural competence development. *International Journal of Intercultural Relations*. 2021;82:109–120. doi:10.1016/j.ijintrel.2021.03.009
 81. Clancy E.A., Quinn P., Miller J.E. Assessment of a case study laboratory to increase awareness of ethical issues in engineering. *IEEE Transactions on Education*. 2005;48(2):313–317. doi:10.1109/TE.2004.842900
 82. Uskoković V. Natural sciences and chess: a romantic relationship missing from higher education curricula. *Heliyon*. 2023;9. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15015
 83. Salas-Pilco S.Z., Xiao K., Oshima J. Artificial intelligence and new technologies in inclusive education for minority students: a systematic review. *Sustainability*. 2022;14(20). doi:10.3390/su142013572
 84. Conde M.Á., Rodríguez-Sedano F.J., Fernández-Llamas C., Gonçalves J., Lima J., García-Peñalvo F.J. Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: a systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education*. 2021;29(1):46–65. doi:10.1002/CAE.22354
 85. Li K.C., Wong B.T.M. Personalisation in STE (A) M education: a review of literature from 2011 to 2020. *Journal of Computing Higher Education*. 2023;35(1):186–201. doi:10.1007/s12528-022-09341-2
 86. Donmez I. STEM education dimensions: from STEM literacy to STEM assessment. *Research Highlights in Education and Science*. 2020:154–170. Accessed June 05, 2024. https://www.researchgate.net/publication/347976048_STEM_Education_Dimensions_from_STEM_Literacy_to_STEM_Assessment
 87. Коновалов А.А. Дефициты методической компетентности педагогов профессионального обучения. *Образование и саморазвитие*. 2023;18(2):81–99. doi:10.26907/esd.18.2.07

88. Perignat E., Katz-Buonincontro J. STEAM in practice and research: an integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*. 2019;31:31–43. doi:10.1016/j.tsc.2018.10.002
89. Солодихина М.В., Солодихина А.А. Развитие критического мышления магистрантов с помощью STEM-кейсов. *Образование и наука*. 2019;21(3):125–153. doi:10.17853/1994-5639-2019-3-125-153
90. Popa R.-A., Ciascai L. Students' attitude towards STEM education. *Acta Didactica Napocensia*. 2017;10(4):55–62. Accessed June 05, 2024. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1164986.pdf>
91. Ахмедов Г.Г. Научно-педагогические основы внедрения STEM, STEAM, STREAM технологии в образовательную практику. *Муниципальное образование: инновации и эксперимент*. 2021;79(4):5–11 doi:10.51904/2306-8329_2021_79_4_5

References

1. Sanders M. STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*. 2009;68:20–26. Accessed July 01, 2024. https://www.researchgate.net/publication/237748408_STEM_STEM_education_STEMmania
2. Buchholz K. *Where Students Choose STEM Degrees*. Accessed July 01, 2024. <https://www.statista.com/chart/22927/share-and-total-number-of-stem-graduates-by-country/>
3. *The Future of Jobs Report 2023*. 296 p. Accessed July 01, 2024. <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2023/>
4. Broggy J., O'Reilly J., Erduran S. Interdisciplinarity and science education. In: Taber K.S., Akpan B., eds. *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. Rotterdam: SensePublishers; 2017:81–90. doi:10.1007/978-94-6300-749-8_6
5. Karimova B.T. STEM-learning – an innovative approach in modern education. In: *Innovation Management and Technology in the Era of Globalization: Materials of the International Conference*; 2018. Alexandria – Sharm El Sheikh, Egypt; 2018:107–110. (In Russ.)
6. Boon N.S. Exploring STEM competences for the 21st-century. *UNESCO International Bureau of Education*. 2019;30:1–53. Accessed July 02, 2024. <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/6641>
7. Le Q., Le H., Vu C., Nguyen N., Nguyen A., Vu N. Integrated science, technology, engineering and mathematics (STEM) education through active experience of designing technical toys in Vietnamese schools. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*. 2015;11(2):1–12. doi:10.9734/BJESBS/2015/19429
8. Zhan Z., Shen W., Xu Z., Niu S., You G. A bibliometric analysis of the global landscape on STEM education (2004–2021): towards global distribution, subject integration, and research trends. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2022;16(2):171–203. doi:10.1108/APJIE-08-2022-0090
9. Sologub N.S., Arshansky E.Ya. STEM-education: essence and analysis of the idea in historical retrospect. *Vesci BDPU. Seriya 1 = Bulletin of the Belarusian State Pedagogical University. Series 1*. 2020;2:15–18. (In Russ.) Accessed July 01, 2024. https://elib.bspu.by/bitstream/doc/50479/1/ves-ti_2_%D0%A1%D0%B5%D1%80%201%20220620_0015-0018.pdf
10. Campbell C., Speldewinde C. Early childhood STEM education for sustainable development. *Sustainability*. 2022;14(6). doi:10.3390/su14063524
11. Uspayeva M.G., Gachaev A.M. STEM-education: scientific discourse and educational practices. *Upravlenie obrazovaniem: teorija i praktika = Education Management: Theory and Practice*. 2022;12(9). doi:10.25726/q3562-6842-6568-b

12. Zhan Z., Niu S. Subject integration and theme evolution of STEM education in K-12 and higher education research. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2023;10(1). doi:10.1057/s41599-023-02303-8
13. Morrison J. Attributes of STEM education: the student, the school, the classroom. *TIES Teaching Institute for Excellence in STEM*. 2006:2–7. Accessed June 01, 2024. http://www.leadingpbl.org/f/Jans%20pdf%20Attributes_of_STEM_Education-1.pdf
14. Honey M., Pearson G., Schweingruber H. *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: National Academies Press; 2014. 180 p. Accessed June 01, 2024. <https://www.middleweb.com/wp-content/uploads/2015/01/STEM-Integration-in-K12-Education.pdf>
15. Martin-Paez T., Aguilera D., Perales-Palacios F.J., Vilchez-González J.M. What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*. 2019;103(4):799–822. doi:10.1002/sce.2152
16. Zizka L., McGunagle D.M., Clark P.J. Sustainability in science, technology, engineering and mathematics (STEM) programs: authentic engagement through a community-based approach. *Journal of Cleaner Production*. 2020;279(3). doi:10.1016/j.jclepro.2020.123715
17. Khan K., Mason J. The M in STEM and issues of data literacy. In: *Proceedings of the 29th International Conference on Computers in Education: Asia-Pacific Society for Computers in Education*. 2021:632–637. Accessed June 10, 2024. <https://icce2021.apsce.net/wp-content/uploads/2021/12/ICCE2021-Vol.I-PP-632-637.pdf>
18. Rozek C.S., Hyde J.S., Svoboda R.C., Hullema C.S., Harackiewicz J.M. Gender differences in the effects of a utility-value intervention to help parents motivate adolescents in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*. 2015;107:195–206. doi:10.1037/a0036981
19. Lee M., Hsu C., Chang C. Identifying Taiwanese teachers' perceived self-efficacy for science, technology, engineering, and mathematics (STEM) knowledge. *Asia-Pacific Education Researcher*. 2019;28(1). doi:10.1007/s40299-018-0401-6
20. Wang H., Moore T.J., Roehrig G.H., Park M.S. STEM integration: teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*. 2011;1(2). doi:10.5703/1288284314636
21. Moore K.A., Smith T.J. Advancing the state of the art of STEM integration. *Journal of STEM Education*. 2014;15(1):5–10. Accessed June 08, 2024. https://www.researchgate.net/publication/294427783_Advancing_the_State_of_the_Art_of_STEM_Integration
22. Lamb R., Akmal T., Petrie K. Development of a cognition-priming model describing learning in a STEM classroom. *Journal of Research in Science Teaching*. 2015;52(3):410–437. doi:10.1002/tea.21200
23. Kelley T.R., Knowles J.G. A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2016;3(11). doi:10.1186/s40594-016-0046-z
24. Estapa A.T., Tank K.M. Supporting integrated STEM in the elementary classroom: a professional development approach centered on an engineering design challenge. *International Journal of STEM Education*. 2017;4(6). doi:10.1186/s40594-017-0058-3
25. Mohd Shahali E.H., Halim L., Rasul M.S., Osman K., Zulkifeli M.A. STEM learning through engineering design: impact on middle secondary students' interest towards STEM. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2017;13(5):1189–1211. doi:10.12973/eurasia.2017.00667a
26. Song M. Integrated STEM teaching competencies and performances as perceived by secondary teachers in South Korea. *International Journal of Comparative Education and Development*. 2020;22(2):131–146. doi:10.1108/IJCED-02-2019-0016
27. Ryu M., Mentzer N., Knobloch N. Preservice teachers' experiences of STEM integration: challenges and implications for integrated STEM teacher preparation. *International Journal of Technology and Design Education*. 2019;29(3):493–512. doi:10.1007/s10798-018-9440-9

28. Blackley S., Howell, J. The next chapter in the STEM education narrative: using robotics to support programming and coding. *Australian Journal of Teacher Education*. 2019;44(4):51–64. doi:10.14221/ajte.2018v44n4.4
29. Meng C., Idris N., Leong K.E., Daud M. Secondary school assessment practices in science, technology and mathematics (STEM) related subjects. *Journal of Mathematics Education*. 2013;6(2):58–69. Accessed July 08, 2024. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2431552
30. Shaughnessy J.M. Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle School*. 2013;18(6):324–324. doi:10.5951/mathteachmidscho.18.6.0324
31. Moore T., Stohlmann M., Wang H., Tank K., Glancy A., Roehrig G. Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. In: Purzer S., Strobel J., Cardella M., eds. *Engineering in Pre-College Settings: Synthesizing Research, Policy, and Practices*. West Lafayette: Purdue University Press; 2014:35–60. Accessed July 12, 2024. https://www.researchgate.net/publication/273458545_Implementation_and_integration_of_engineering_in_K-12_STEM_education
32. Lesseig K., Slavik D., Nelson T.H. Jumping on the STEM bandwagon: how middle grades students and teachers can benefit from STEM experiences. *Middle School Journal*. 2017;48(3):15–24. doi:10.1080/00940771.2017.1297663
33. Aydin-Gunbatar S., Tarkin-Celikkiran A., Kutucu E.S., Ekiz-Kiran B. The influence of a design-based elective stem course on pre-service chemistry teachers' content knowledge, STEM conceptions, and engineering views. *Chemistry Education Research and Practice*. 2018;19(3):954–972. doi:10.1039/C8RP00128F
34. Van Dam-Mieras R., Lansu A., Rieckmann M. et al. Development of an interdisciplinary, intercultural master's programme on sustainability: learning from the richness of diversity. *Innovative Higher Education*. 2008;32(5):251–264. doi:10.1007/s10755-007-9055-7
35. Gamage K.A.A., Ekanayake S.Y., Dehideniya S.C.P. Embedding sustainability in learning and teaching: lessons learned and moving forward – approaches in STEM higher education programmes. *Education Sciences*. 2022;12(3). doi:10.3390/educsci12030225
36. González-Gómez D., Jeong, J.S. Approaches and methods of science teaching and sustainable development. *Sustainability*. 2022;14. doi:10.3390/su14031546
37. Dehideniya D.M.S.C.P.K., Ekanayake S.Y. Approaching sustainability competency development through online STEM-based science teaching-learning. *Global Comparative Education: Journal of the WCCES*. 2023;7(2). Accessed July 12, 2024. https://www.researchgate.net/publication/356391304_Online_STEM_Based_Science_Teaching-Learning_Experience
38. Bybee R.W. Guest editorial: using the BSCS 5E instructional model to introduce STEM disciplines. *Science and Children*. 2019;56(6):8–12. doi:10.2505/4/sc19_056_06_8
39. Hu W., Guo X. Toward the development of key competencies: a conceptual framework for the STEM curriculum design and a case study. *Frontiers in Education*. 2021;6. doi:10.3389/feduc.2021.684265
40. Newell M.J., Ulrich P.N. Competent and employed: STEM alumni perspectives on undergraduate research and NACE career-readiness competencies. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*. 2022;13(1):79–93. doi:10.21153/jtlge2022vol13no1art1534
41. Bybee R.W. *The BSCS 5E Instructional Model and 21st Century Skills. Executive Summary*. USA; 2006. 19 p. Accessed July 12, 2024. https://media.bsccs.org/bsccsmw/5es/bscs_5e_executive_summary.pdf
42. Jang H. Identifying 21st century STEM competencies using workplace data. *Journal of Science Education and Technology*. 2016;25:284–301. doi:10.1007/s10956-015-9593-1
43. Akdere M., Hickman L., Kirchner M. Developing leadership competencies for STEM fields: the case of Purdue Polytechnic Leadership Academy. *Developing Human Resources*. 2019;21(1):49–71. doi:10.1177/1523422318814546
44. Yann Sh.O., Neo M. *Sharing STEM Competencies Practices in Asia Seminar Proceeding*. Singapore: Multi-centric Education, Research and Industry STEM Centre; National Institute of Education;

- Nanyang Technological University; 2022. 125 p. Accessed July 12, 2024. <https://www.researchgate.net/publication/364313302>
45. Care E., Luo R. *Assessment of Transversal Competencies: Policy and Practice in the Asia-Pacific Region*. UNESCO; 2016. 63 p. Accessed July 12, 2024. <https://www.researchgate.net/publication/313761634>
 46. *Preparing & Supporting Teachers to Meet the Challenges of 21st Century Learning in Asia-Pacific. Transversal Competencies in Education Policies and Practice*. UNESCO; 2016. 4 p. Accessed July 12, 2024. <https://gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/180312eng.pdf>
 47. Bianchi G., Pisiotis U., Giraldez M.C. *GreenComp – The European Sustainability Competence Framework*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2022. 56 p. doi:10.2760/13286
 48. *European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Key Competences for Lifelong Learning*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019. 20 p. Accessed July 10, 2024. <https://makemothermatter.org/wp-content/uploads/2019/11/KEY-COMPETENCES-FOR-LIFELONG-LEARNING-Mars-2019.pdf>
 49. Sala A., Punie Y., Garkov V., Carbera M. *LifeComp The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence. IRC Science for Policy Report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. European Commission; 2020. 84 p. doi:10.2760/302967
 50. Abina A., Temeljotov Salaj A., Cestnik B., Karalić A., Ogrinc M., Kovačič Lukman R., Zidanšek A. Challenging 21st-century competencies for STEM students: companies' vision in Slovenia and Norway in the light of global initiatives for competencies development. *Sustainability*. 2024;16. doi:10.3390/su16031295
 51. Siekmann G., Korbel P. *Defining "STEM" Skills: Review and Synthesis of the Literature*. Adelaide: National Centre for Vocational Education Research (NCVER); 2016. 56 p. Accessed July 15, 2024. https://www.ncver.edu.au/_data/assets/pdf_file/0022/61339/Support-doc-1-Defining-STEM-skills-review-and-synthesis-of-the-literature.pdf
 52. McLoughlin E., Butler D., Kaya S., Costello E. *STEM Education in Schools: What Can We Learn from the Research?* Ireland: Dublin City University; 2020. 134 p. doi:10.5281/zenodo.3673728
 53. *Accreditation Criteria & Supporting Documents (ABET)*. Accessed July 15, 2024. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/>
 54. Lucas B., Hanson J., Claxton G. *Thinking Like an Engineer: Implications for the Education System*. UK: The Royal Academy of Engineering; 2014. 88 p. Accessed July 16, 2024. <https://raeng.org.uk/media/brijknt3/thinking-like-an-engineer-full-report.pdf>
 55. Wing J.M. Computational thinking. *Communications of The ACM*. 2006;49(3):33–35. doi:10.1145/1118178.1118215
 56. Crawley E.F., Malmqvist J., Östlund S., Brodeur D.R., Edström K. *Rethinking Engineering Education. The CDIO Approach*. 2nd ed. Switzerland: Springer International Publishing; 2014. 311 p. Accessed July 16, 2024. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-05561-9>
 57. Zhong B., Liu X., Xia L., Sun W. A proposed taxonomy of teaching models in STEM education: robotics as an example. *Sage Open*. 2022;12(2). doi:10.1177/21582440221099525
 58. Carracedo F.S., Soler A., Martin C., et al. Competency maps: an effective model to integrate professional competencies across a STEM curriculum. *Journal of Science Education and Technology*. 2018;27:448–468. Accessed July 16, 2024. <https://rdcu.be/NbGx>
 59. Arıkan S., Pesen M., Erkin E. STEM yeterlikleri değerlendirme çerçevesinin 4. sınıf düzeyi için uyarlanması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi (PAÜEFD)*. 2023;60:201–225. (In Turkish) doi:10.9779/pauefd.1249861
 60. Gao X., Li P., Shen J., et al. Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*. 2020;7. doi:10.1186/s40594-020-00225-4

61. Ardianto D., Firman H., Permanasari A., Ramalis T.R. What is science, technology, engineering, mathematics (STEM) literacy? *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*. 2018;381–384. doi:10.2991/aes-18.2019.86
62. Turner E.E., Roth McDuffie A., Bennett A.B., Aguirre J., Chen M.K., Foote M.Q., Smith J.E. Mathematical modeling in the elementary grades: developing and testing an assessment. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2022;20(7):1387–1409. doi:10.1007/s10763-021-10195-w
63. Arıkan S., Erktin E., Pesen M. Development and validation of a STEM competencies assessment framework. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2022;20:1–24. doi:10.1007/s10763-020-10132-3
64. Coello Pisco S.M., Rodríguez B., Banguera L., Baidal E. Research skills R+D+I and industry 4.0, STEM and TRIZ and their application in the professional skills of applied physics students. *Revista Mexicana de Física E*. 2024;21(1). doi:10.31349/RevMexFisE.21.010212
65. English L.D. Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 2017;15(1):5–24. doi:10.1007/s10763-017-9802-x
66. Lai C.S. Using inquiry-based strategies for enhancing students' STEM education learning. *Journal of Education in Science Environment and Health*. 2018;4(1):110–117. doi:10.21891/jeseh.389740
67. Wang Yu., Wang W. How green industrial policy affects the constancy of green technology innovation: a fresh proof from the innovation motivation perspective. *Environmental Research Communications*. 2024;6(3). doi:10.1088/2515-7620/ad35ac
68. Lariba E. Gender dynamics in STEM fields: women's experiences in different cultural contexts. *Journal of Advanced Sociology*. 2024;5(2):15–29. doi:10.47941/jas.1857
69. Taylor E. Investigating soft skills development at a higher education institution in South Africa. In: *Conference: ICEEL 2019: 2019 3rd International Conference on Education and E-Learning*. 2019:140–146. doi:10.1145/3371647.3371669
70. Fan S., Yu K. Core value and implementation of the science, technology, engineering, and mathematics curriculum in technology education. *Journal of Research in Education Sciences*. 2016;61(2):153–183. doi:10.6209/JORIES.2016.61(2).06
71. Cherner Y., Witus G., Uhomoihi J., Cherner T., Van Dyke B., Popova I., Wang H. *Interactive and Adaptable Mobile-Friendly e-Learning Environments for K-12 and Higher STEM Education and Skills Training. Advances in Intelligent Systems and Computing. Mobile Technologies and Applications for the Internet of Things*. Cham: Springer Link; 2019:235–247. doi:10.1007/978-3-030-11434-3_27
72. Hu Q., Li F., Chen C. A smart home test bed for undergraduate education to bridge the curriculum gap from traditional power systems to modernized Smart Grids. *IEEE Transactions on Education*. 2015;58(1):32–38. doi:10.1109/TE.2014.2321529
73. Balyk N.R., Shmyger G.P., Vasylenko Ya.Ph., Oleksiuk V.P. STEM centre as a factor in the development of formal and non-formal STEM education. In: *Journal of Physics: Conference Series. XIV International Conference on Mathematics, Science and Technology Education*; May 18–20, 2022; Kryvyi Rih, Ukraine. doi:10.1088/1742-6596/2288/1/012030
74. Kao G.Y.M., Ruan C.A. Designing and evaluating a high interactive augmented reality system for programming learning. *Computers in Human Behavior*. 2022;132(6). doi:10.1016/j.chb.2022.107245
75. Altan E.B., Tan S. Concepts of creativity in design based learning in stem education. *International Journal of Technology and Design Education*. 2021;31:503–529. doi:10.1007/s10798-020-09569-y
76. Zhan Z., Xiao Y., Li T. Effects of association interventions on students' creative thinking, aptitude, empathy, and design scheme in a STEAM course: considering remote and close association. *International Journal of Technology and Design Education*. 2023;33(5):1773–1795. doi:10.1007/s10798-022-09801-x

77. Weintrop D., Beheshti E., Horn M., Orton K., Jona K., Trouille L., Wilensky U. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*. 2016;25:127–147. doi:10.1007/s10956-015-9581-5
78. Li T., Zhan Z. A systematic review on design thinking Integrated Learning in K-12 education. *Applied Sciences*. 2022;12(16). doi:10.3390/app12168077
79. Gadot R., Tsybulsky D. Digital curation as a pedagogical approach to promote critical thinking. *Journal of Science Education and Technology*. 2023;32(2). doi:10.1007/s10956-022-10016-x
80. Akdere M., Acheson K., Jiang Y. An examination of the effectiveness of virtual reality technology for intercultural competence development. *International Journal of Intercultural Relations*. 2021;82:109–120. doi:10.1016/j.ijintrel.2021.03.009
81. Clancy E.A., Quinn P., Miller J.E. Assessment of a case study laboratory to increase awareness of ethical issues in engineering. *IEEE Transactions on Education*. 2005;48(2):313–317. doi:10.1109/TE.2004.842900
82. Uskoković V. Natural sciences and chess: a romantic relationship missing from higher education curricula. *Heliyon*. 2023;9. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15015
83. Salas-Pilco S.Z., Xiao K., Oshima J. Artificial intelligence and new technologies in inclusive education for minority students: a systematic review. *Sustainability*. 2022;14(20). doi:10.3390/su142013572
84. Conde M.Á., Rodríguez-Sedano F.J., Fernández-Llamas C., Gonçalves J., Lima J., García-Peñalvo F.J. Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: a systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education*. 2021;29(1):46–65. doi:10.1002/CAE.22354
85. Li K.C., Wong B.T.M. Personalisation in STE (A) M education: a review of literature from 2011 to 2020. *Journal of Computing Higher Education*. 2023;35(1):186–201. doi:10.1007/s12528-022-09341-2
86. Donmez I. STEM education dimensions: from STEM literacy to STEM assessment. *Research Highlights in Education and Science*. 2020:154–170. Accessed June 05, 2024. https://www.researchgate.net/publication/347976048_STEM_Education_Dimensions_from_STEM_Literacy_to_STEM_Assessment
87. Konovalov A.A. Deficits of methodical competence of teachers of vocational training. *Obrazovanie i samorazvitie = Education and Self-Development*. 2023;18(2):81–99. (In Russ.) doi:10.26907/esd.18.2.07
88. Perignat E., Katz-Buonincontro J. STEAM in practice and research: an integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*. 2019;31:31–43. doi:10.1016/j.tsc.2018.10.002
89. Solodikhina M.V., Solodikhina A.A. Development of critical thinking of master's degree students using STEM cases. *Obrazovanie i nauka = The Education and Science Journal*. 2019;21(3):125–153. (In Russ.) doi: 10.17853/1994-5639-2019-3-125-153
90. Popa R.-A., Ciascai L. Students' attitude towards STEM education. *Acta Didactica Napocensia*. 2017;10(4):55–62. Accessed June 05, 2024. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1164986.pdf>
91. Ahmedov H.H. Scientific and pedagogical foundations for the implementation of STEM, STEAM, STREAM technologies in educational practice *Municipal'noe obrazovanie: innovacii i experiment = Municipal Education: Innovations and Experiment*. 2021;79(4):5–11. (In Russ.) doi:10.51904/2306-8329_2021_79_4_5

Информация об авторах:

Попова Ирина Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра развития образования Высшей школы государственного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президен-

те РФ, Москва, Российская Федерация; ORCID 0000-0001-6523-4498, Scopus Author ID 57250283400, ResearcherID R-2109-2018. E-mail: popova-in@ranepa.ru

Сатдыков Айрат Илдарович – заместитель руководителя Научно-образовательного центра развития образования Высшей школы государственного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Москва, Российская Федерация; ORCID 0000-0002-9813-3746, SPIN-код 8662–3436. E-mail: satdykov-ai@ranepa.ru

Вклад соавторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку статьи.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.05.2024; поступила после рецензирования 12.09.2024; принята к публикации 02.10.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Irina N. Popova – Cand. Sci. (Education), Associate Professor, Leading Researcher of the Scientific and Educational Centre for Educational Development, Higher School of Public Administration, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation; ORCID 0000-0001-6523-4498, Scopus Author ID 57250283400, ResearcherID R-2109-2018. E-mail: popova-in@ranepa.ru

Airat I. Satdykov – Deputy Head of the Scientific and Educational Centre for Educational Development, Higher School of Public Administration, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation; ORCID 0000-0002-9813-3746, SPIN-code 8662–3436. E-mail: satdykov-ai@ranepa.ru

Contribution of the authors. The authors made an equal contribution to the preparation of the article.

Conflict of interest statement. The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 17.05.2024; revised 12.09.2024; accepted 02.10.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.

Información sobre los autores:

Irina Nikoláevna Popova: Candidata a Ciencias de la Pedagogía, Profesora Asociada, Investigadora Líder del Centro Científico y Educativo para el Desarrollo Educativo de la Escuela Superior de Administración Pública de la Academia Rusa de Economía Nacional y Administración Pública bajo la Presidencia de la Federación de Rusia, Moscú, Federación de Rusia; ORCID 0000-0001-6523-4498, Scopus Author ID 57250283400, ResearcherID R-2109-2018. Correo electrónico: popova-in@ranepa.ru

Ayrat Ildárovich Satdykov: Subdirector del Centro Científico y Educativo para el Desarrollo Educativo de la Escuela Superior de Administración Pública de la Academia Rusa de Economía Nacional y Administración Pública bajo la Presidencia de la Federación de Rusia, Moscú, Federación de Rusia; ORCID 0000-0002-9813-3746, SPIN-code 8662–3436. Correo electrónico: satdykov-ai@ranepa.ru

Contribución de coautoría. Los autores aportaron una contribución igual para la preparación del artículo.

Información sobre conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

El artículo fue recibido por los editores el 17/05/2024; recepción efectuada después de la revisión el 12/09/2024; aceptado para su publicación el 02/10/2024.

Los autores leyeron y aprobaron la versión final del manuscrito.