

DOI: 10.32517/2221-1993-2025-24-5-31-36

**А. Ю. Федосов, Т. А. Семенкова***Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ ОБУЧЕНИЯ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЮ: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА, ПОДГОТОВКА ПЕДАГОГОВ

Аннотация

В мировой образовательной практике изучение 3D-моделирования становится неотъемлемым элементом в формировании информационной грамотности школьника и его подготовке к будущей профессиональной деятельности. Зарубежные школы активно используют технологии трехмерного проектирования как инструмент для развития у школьников пространственного воображения и элементов инженерного мышления. В статье представлен сравнительный анализ зарубежного и российского опыта обучения 3D-моделированию в школах, выявлена взаимосвязь школьного курса 3D-моделирования с соответствующими учебными курсами в высших учебных заведениях. Рассматриваются организационные подходы, проекты и особенности подготовки педагогов в области методики обучения 3D-моделированию в России, США, Южной Корее, Китае и Сингапуре.

Особое внимание уделяется анализу применяемых программных средств и системной поддержки внедрения 3D-моделирования в учебный процесс. Результаты анализа позволяют выявить наиболее эффективные модели организации обучения и сформулировать рекомендации по адаптации успешных мировых практик в условиях российской школы, характеризующейся рядом преимуществ: высоким потенциалом развития инженерного мышления в рамках предмета «Технология», обширной сетью учреждений дополнительного образования, а также богатством локальных педагогических практик, сочетающих 3D-моделирование с черчением, математикой и информатикой.

Ключевые слова: 3D-моделирование, цифровая трансформация образования, инженерное мышление, STEM, подготовка педагогов, зарубежный опыт.

Информация об авторах

Федосов Александр Юрьевич, доктор пед. наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий, искусственного интеллекта и общественно-социальных технологий цифрового общества, факультет политических и социальных технологий, Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия; *e-mail:* alex_fedosov@mail.ru

Семенкова Татьяна Александровна, аспирант кафедры информационных технологий, искусственного интеллекта и общественно-социальных технологий цифрового общества, факультет политических и социальных технологий, Российский государственный социальный университет, г. Москва, Россия; *e-mail:* tasemenkova@bk.ru

A. Yu. Fedosov, T. A. Semenkova

Russian State Social University, Moscow, Russia

A COMPARATIVE ANALYSIS OF RUSSIAN AND FOREIGN PRACTICES IN TEACHING 3D MODELING: METHODOLOGICAL APPROACHES, SOFTWARE TOOLS, AND TEACHER TRAINING

Abstract

In global educational practice, the study of 3D modeling is becoming an integral element in developing schoolchildren's information literacy and preparing them for future professional careers. International schools actively use 3D design technologies as a tool for developing students' spatial imagination and engineering thinking. The article presents a comparative analysis of international and Russian experiences in teaching 3D modeling in schools, identifying the relationship between school 3D modeling courses and corresponding courses at higher education institutions. Organizational approaches, projects, and teacher training in 3D modeling teaching methods in Russia, the United States, South Korea, China, and Singapore are examined.

Particular attention is given to the analysis of software tools used and system support for integrating 3D modeling into the educational process. The analysis results allow us to identify the most effective models for organizing learning and formulate recommendations for adapting successful global practices to the Russian school system, which boasts a number of advantages: high potential for developing engineering thinking within the subject "Technology", an extensive network of supplementary education institutions, and a wealth of local pedagogical practices that combine 3D modeling with drawing, mathematics, and informatics.

Keywords: 3D modeling, digital transformation of education, engineering thinking, STEM, teacher training, international experience.

Information about the authors

Alexander Yu. Fedosov, Doctor of Sciences (Education), Docent, Professor at the Department of Information Technologies, Artificial Intelligence and Public and Social Technologies of the Digital Society, Faculty of Political and Social Technologies, Russian State Social University, Moscow, Russia; *e-mail:* alex_fedosov@mail.ru

Tatyana A. Semenkova, a postgraduate student at the Department of Information Technologies, Artificial Intelligence and Public and Social Technologies of the Digital Society, Faculty of Political and Social Technologies, Russian State Social University, Moscow, Russia; *e-mail:* tasemenkova@bk.ru

1. Введение

Цифровая трансформация образования характеризуется целым рядом изменений, являющихся следствием активного и систематического использования цифровых технологий. В частности, как отмечает И. В. Роберт, это «реализация организационных форм и методов обучения адекватно современным научно-исследовательским методам познания изучаемых закономерностей природных явлений и социальных проявлений, как реально протекающих, так и виртуально представляющих на экране реальные и абстрактные объекты и процессы» [1]. Указанные методы обучения нацелены на формирование творческих и исследовательских навыков обучающихся и базируются на широком спектре новых методических инструментов.

В настоящее время 3D-моделирование все более активно входит в школьную практику в качестве эффективного инструмента, хотя ранее ассоциировалось исключительно с профессиональной инженерией и промышленным дизайном.

На первый взгляд, трехмерное моделирование имеет статус преходящего технического новшества, однако все большее количество исследований указывают на его глубокий образовательный потенциал: от развития пространственного мышления до формирования у школьников навыков проектной деятельности и цифровой грамотности. В образовательных системах ряда стран от США до Сингапура данная технология уже встроена в учебные курсы STEM и STEAM, она помогает обучающимся решать актуальные задачи, самовыражаться и даже способствует профессиональной ориентации [8].

На рубеже XX и XXI веков цифровые технологии интегрировались в школьное образование, что повлекло за собой глубокое переосмысление педагогических подходов. Концепция цифровой трансформации видоизменялась, не просто выступая модным термином, а становясь объективной необходимостью для систем образования, стремящихся соответствовать вызовам времени. Одним из перспективных направлений обозначенного процесса стало внедрение 3D-моделирования.

В начале 2000-х годов зафиксированы первые попытки интеграции 3D-моделирования в учебные практики, тогда же появились доступные программные решения и 3D-принтеры, необходимые для использования в образовательных учреждениях. В указанный период исследователи акцентировали внимание на потенциале этих технологий в области когнитивного совершенствования обучающихся, в развитии их пространственного мышления, инженерных и математических навыков [7]. Постепенно 3D-моделирование стало восприниматься не только как инструмент визуализации, но и как полноценный метод обучения в рамках STEM-подхода.

В научно-методической литературе подчеркивается, что технологии трехмерного моделирования способствуют формированию метапредметных компетенций, активному вовлечению учащихся в проектную деятельность и развитию цифровой грамотности [4, 6]. Исследования, посвященные отношению школьников к обучению 3D-печати в средних школах, демонстрируют, что с помощью проектов по 3D-моделированию учащиеся совершенствуют не только инженерное мышление, но и коммуникативные навыки, критическое мышление и навыки групповой

работы [5]. Такой подход особенно ценен в контексте подготовки к получению школьниками в будущем профессий, ориентированных на высокие технологии.

Исследования демонстрируют, что использование обозначенных технологий в учебной практике повышает интерес учащихся к инженерным и математическим дисциплинам, а также улучшает академические результаты посредством использования визуального и проектного подходов к обучению [3].

В данной статье мы рассмотрим зарубежный и отечественный опыт использования технологии 3D-моделирования в школьном образовании.

2. Зарубежный опыт преподавания 3D-моделирования в школах на примере США, Южной Кореи, Китая и Сингапура

Мировая практика интеграции 3D-моделирования в школьное образование демонстрирует разнообразие стратегий, обусловленное национальными приоритетами, инфраструктурными возможностями и педагогическими традициями. Необходимо подчеркнуть, что в центре внимания многих результативных программ находятся развитие инженерного мышления, подготовка к интеграции в цифровую экономику и стимулирование проектной деятельности учащихся.

2.1. 3D-моделирование в Соединенных Штатах Америки

США традиционно выступают одним из лидеров в области внедрения инновационных технологий в образование. В 2011 году в отчете Национального научного фонда подчеркивалась необходимость внедрения инженерного компонента K-12 в образование, включая такие технологии, как CAD и 3D-моделирование [10]. В США развитие цифровых навыков, включая 3D-моделирование, закреплено на уровне федеральных и региональных стратегий. Например, национальные инициативы, такие как STEM for All, а также программы Maker Education способствуют распространению оборудования и образовательного контента в масштабах страны [9]. Программа Maker Ed фиксирует рост интереса к инженерным и ИТ-специальностям среди учащихся, прошедших курсы по цифровому производству [там же]. В настоящее время во многих школах США используются следующие программные среды:

- Tinkercad — визуально понятный конструктор для базовой подготовки в области 3D-моделирования;
- SketchUp — 3D-редактор с интуитивно понятным интерфейсом, благодаря своей простоте и гибкости позволяющий быстро освоить основы 3D-моделирования;
- Fusion 360 — комплексное облачное программное обеспечение от компании Autodesk для 3D-моделирования, проектирования и расчетов, объединяющее в себе функции CAD, CAM и CAE и позволяющее выполнять инженерные расчеты, разрабатывать управляющие программы для станков с ЧПУ, знакомить обучающихся с промышленными стандартами САПР.

Образовательные программы для американских школ в области STEM, разрабатываемые некоммерческими организациями (например, такими как Project Lead the Way), включают 3D-дизайн как обязательную составляющую курса инженерии и технологий [6, 10]. Их финансирование осуществляется как государством, так и частными компаниями: Google, Autodesk, Intel активно участвуют в образовательных стартапах и спонсорских программах. В США существует система поддержки педагогов, в рамках которой они на основе реализации сертификационных программ подтверждают профессиональные компетенции, получая, в частности, статус Autodesk Certified Educator (ACE).

2.2. 3D-моделирование в Южной Корее

Южная Корея — яркий пример технологически ориентированной образовательной политики. В середине 2010-х годов данная страна, следуя курсу «умного образования», интегрировала 3D-моделирование в учебные планы технологических дисциплин. Министерство образования Республики Корея разработало модульные программы для средней школы, в которых 3D-дизайн и печать сочетаются с основами программирования и робототехники [5, 13].

В 2015 году Министерство образования Республики Корея в рамках цифровой трансформации объявило о национальной инициативе Creative Space по созданию инновационных образовательных пространств для успешной совместной экспериментальной работы преподавателей и учащихся с особым акцентом на внедрение передовых технологий, таких как 3D-принтинг в школах [13]. В результате в школьную практику были включены элементы 3D-моделирования и прототипирования, а также открыты специализированные лаборатории в рамках программы мейкерспейсов (makerspace). Южная Корея формирует «цифровые школы», в которых преподаватели проходят подготовку непосредственно в школе, что позволяет им лучше освоить современные образовательные технологии (интерактивные доски, VR/AR, 3D-моделирование, программирование, робототехника) и интегрировать их в образовательный процесс. Учебные модули для подготовки преподавателей разрабатываются в тесном сотрудничестве с ИТ-компаниями.

В стране акцент делается на симбиозе моделирования и физики: школьники проектируют детали для роботов и создают функциональные прототипы с помощью платформ SolidWorks и 3D One. Южнокорейская инициатива Creative Space, продемонстрировала повышение уровня командной работы и технологической грамотности: в пилотных школах около 85 % учащихся отметили, что 3D-проектирование помогло им лучше понять физические и математические концепции [13].

2.3. 3D-моделирование в Китае

Китай активно инвестирует в развитие цифровой образовательной среды. С 2018 года Министерство образования КНР включило 3D-моделирование и робототехнику в обновленные учебные стандарты средней школы [15]. 3D-моделирование входит в национальную стратегию по внедрению инновационных технологий в образовательный процесс. Особое внимание уделя-

ется обеспечению равного доступа: в сельских районах создаются мобильные лаборатории с 3D-принтерами, ноутбуками и обучающими ресурсами.

Образовательные инициативы, такие как Smart Classroom и Future School поддерживаются на центральном и региональном уровнях [12]. Формируются цифровые лаборатории, в которых учащиеся могут не только создавать 3D-модели, но и воплощать их в физических объектах с помощью прототипирования. Образовательная реформа Smart Education 2030 имеет целью включение цифрового производства в базовые школьные дисциплины.

Исследования китайских педагогов выявили, что участие в школьных 3D-проектах повышает мотивацию к обучению на 30–40 % и улучшает результаты по смежным дисциплинам, особенно у учащихся сельских школ, в которых доступ к информационным технологиям ранее был ограничен.

Успешность китайского подхода во многом объясняется тесной связью между школами и университетами, а также высокой доступностью оборудования и программных средств [16]. При этом обучение сопровождается заданиями на разработку экологически значимых объектов, например, моделей очистных сооружений или систем умного дома. В Китае педагоги работают в «цифровых школах», в которых модули для обучения разработаны с помощью ИТ-компаний.

2.4. 3D-моделирование в Сингапуре

Сингапур, обладая одной из самых результативных образовательных систем в мире, делает ставку на гибридные подходы и проектное обучение, активно применяет 3D-моделирование в школьной практике. В рамках программы Future-Ready Learners учащиеся уже в начальной школе знакомятся с элементами дизайна, визуального программирования и 3D-моделирования. Большую роль играют государственно-частные партнерства и интеграция с университетами, предоставляющими доступ к современным лабораториям и менторству.

Национальный институт образования (*англ.* The National Institute of Education — NIE) разрабатывает обучающие программы, направленные на развитие у учащихся не только цифровых, но и когнитивных навыков посредством использования 3D-технологий. Так, в рамках программы Design and Technology ученики младших и старших классов осваивают навыки 3D-дизайна, моделирования и прототипирования [14]. В Сингапуре ученики, участвовавшие в проекте Design Your City, демонстрировали более высокий уровень пространственного мышления и критического анализа [11].

В рамках курсов дизайна и цифрового творчества сингапурские школы внедряют Blender и SketchUp. Там моделирование не отрывается от эстетики: оно интегрировано в STEAM и является инструментом развития пространственного мышления, художественного вкуса и инженерной логики.

В Сингапуре значительное внимание уделяется наставничеству: молодых учителей сопровождают опытные методисты, что позволяет педагогам быстро включиться в образовательный процесс и адаптироваться к новым технологиям.

* * *

Таким образом, методики преподавания 3D-моделирования за рубежом отличаются гибкостью и адаптацией к возрастным и когнитивным особенностям учащихся.

Ключевым фактором успешности внедрения 3D-моделирования выступает подготовка педагогов: во всех обозначенных странах формируются национальные центры повышения квалификации, предлагающие как онлайн-курсы, так и очные практикумы.

Инфраструктурное обеспечение варьируется, но в каждой из рассмотренных стран присутствуют следующие компоненты: 3D-принтеры (чаще всего FDM), ноутбуки с предустановленным ПО, безопасные зоны для печати, системы хранения и визуализации моделей.

Финансирование осуществляется из разных источников — от государственных грантов до благотворительных фондов.

Исследования показывают, что внедрение 3D-моделирования положительно воздействует на учебную мотивацию и осознанность профессионального выбора.

3. Сравнительный анализ зарубежной и российской практики обучения 3D-моделированию

Несмотря на возрастающий интерес к технологиям цифрового производства в российском школьном образовании, темпы и глубина внедрения 3D-моделирования остаются неоднородными. Сравнение с международным опытом позволяет выявить достоинства отечественного подхода и существующие зоны роста.

В России вопросы внедрения 3D-моделирования в образовательный процесс определяются в рамках реализации национальных проектов «Образование», «Цифровая экономика» и «Кадры для цифровой экономики». В рамках данных программ реализуются различные действия: открываются центры цифрового образования детей «ИТ-куб», кванториумы, модернизируются кабинеты технологии в школах.

В то же время на федеральном уровне, в отличие от США или Сингапура, отсутствует единая стратегия по интеграции 3D-моделирования в школьные дисциплины. Часто подобные инициативы реализуются точечно:

в виде элективных курсов в рамках предметов «Информатика» или «Проектная деятельность», факультативов или кружков. В 2023 году в Федеральной рабочей программе основного общего образования по технологии (для V—IX классов образовательных организаций) появился инвариантный модуль «3D-моделирование, прототипирование, макетирование», изучаемый в VII—IX классах, общим объемом 24, 32 или 34 часа в зависимости от объема вариативных модулей курса.

В Российской Федерации учителя часто ориентируются на работу с российскими САПР, в первую очередь КОМПАС-3D, адаптированным для образовательных целей. В ряде школ и кружков используются Tinkercad, Blender и FreeCAD, однако их распространение ограничено уровнем подготовки педагогов и техническими возможностями.

Большинство существующих методик базируется на пошаговом обучении: от базовых операций с геометрическими примитивами до создания сложных моделей и подготовки их к 3D-печати. Такое обучение позволяет постепенно формировать у школьников навыки пространственного мышления, но часто упускается интеграция с реальными инженерными задачами, как это практикуется, например, в Южной Корее или Китае. Ряд школ, особенно в рамках инженерных классов, применяют проектный подход, аналогичный Maker Education в США. Отметим, что в России фиксируется нехватка унифицированных программ по 3D-моделированию, а также наблюдается дефицит платформ с готовыми кейсами и сценариями обучения.

Одной из наиболее острых проблем остается подготовка преподавателей. По данным мониторингов Минпросвещения, менее 20 % учителей технологии и информатики уверенно владеют инструментами 3D-моделирования, что усложняет ситуацию. Система повышения квалификации развивается, но часто ограничивается теоретическим компонентом, она почти не ориентирована на практическое применение.

В плане инфраструктуры ситуация также представляется неоднозначной. В крупных городах школы часто оснащены 3D-принтерами, но в малых населенных пунктах подобное оборудование является редкостью. В России цифровое неравенство по-прежнему остается вызовом, в отличие от Китая, в котором особое внима-

Таблица

Сравнительный анализ зарубежной и российской практики обучения 3D-моделированию

№ п/п	Параметр	США, Южная Корея, Китай, Сингапур	Россия
1	Государственная стратегия	Централизованная, долгосрочная	Частично интегрирована в нацпроекты
2	Методические решения	Интеграция в STEM/STEAM, проектный подход	Фрагментарная реализация, вариативные подходы
3	Программное обеспечение	Tinkercad, Fusion 360, SolidWorks, Blender	КОМПАС-3D, Blender, Tinkercad (точечно)
4	Подготовка педагогов	Сертифицированные программы, менторство	Ограниченные возможности ПК, дефицит кадров
5	Техническое оснащение	Повсеместное, поддержка частных компаний	Неоднородное, зависит от региона и проекта
6	Оценка результатов	Системные исследования, публикации	Ограниченные эмпирические данные

ние уделяется сельским школам. Сравнение зарубежной и российской практики обучения 3D-моделированию представлено в таблице.

Таким образом, несмотря на имеющиеся положительные стороны, у российской практики обучения 3D-моделированию остается значительный потенциал для развития. Зарубежный опыт демонстрирует значимость комплексного стратегического подхода, внимания к подготовке педагогов и системной интеграции технологий в образовательные программы.

4. Анализ результатов исследования

Страны-лидеры в области внедрения технологий 3D-моделирования в учебный процесс — США, Южная Корея, Китай, Сингапур — последовательно выстраивают образовательную вертикаль, в которой 3D-моделирование является не факультативным элементом, а органичной частью STEM/STEAM-обучения.

В России же 3D-моделирование часто воспринимается как инновационное дополнение, а не как базовый компонент цифровой грамотности. Такой подход объясняет фрагментарность его представления в содержании предметного обучения, различия в уровне подготовки педагогов, а также недостаточную вовлеченность школьников в процесс 3D-моделирования за пределами крупных городов. В то же время важно отметить, что накопленный опыт и реализуемые инициативы, такие как развитие инженерных классов и создание цифровых образовательных платформ, формируют базис для системных изменений.

Трехмерное моделирование имеет важное значение для среднего специального образования, оно полностью практико-ориентировано и приводит к увеличению доли инноваций в проектах студентов [2]. Внедрение его в процесс обучения трансформирует образование в одну из областей цифровой экономики, следовательно, увеличивает объем инновационных продуктов. Использование 3D-моделирования мотивирует студентов получать знания, развивает креативный потенциал личности, совершенствует пространственное мышление и воображение [там же].

В настоящее время 3D-моделирование является одним из ключевых компонентов инженерной деятельности, поэтому его включение в содержание обучения будущих механиков, техников, технологов, специалистов по компьютерным системам, по прикладной информатике, по информационным системам, разработчиков веб- и мультимедийных приложений в системе среднего профессионального образования делает их более конкурентоспособными, помогает в дальнейшем трудоустройстве и стимулирует к продолжению образования в высшей школе по инженерным направлениям подготовки.

В отличие от российского подхода, в котором внедрение новых технологий часто связано с личной инициативой отдельных педагогов или локальными проектами, зарубежные страны реализуют централизованные инициативы, опирающиеся на научные исследования и опыт промышленного сектора. Например, в США широко распространена концепция maker education, объединяющая 3D-моделирование с робототехникой,

программированием и инженерным дизайном. В Южной Корее и Китае внедрение 3D-технологий поддерживается как на уровне школьной программы, так и через внешкольные хабы: лаборатории, клубы и технопарки. В Сингапуре 3D-моделирование является частью цифрового портфолио ученика, в стране делается ставка на раннюю профориентацию.

Сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что эффективно внедрить 3D-моделирование в российское школьное образование возможно при сочетании нескольких факторов:

- наличия четкой государственной стратегии;
- системной подготовки педагогических кадров;
- стабильной технической базы.

Российская система образования имеет и сильные стороны: например, высокий потенциал развития инженерного мышления через предмет «Технология», широкая сеть учреждений дополнительного образования, а также локальные педагогические практики, сочетающие 3D-моделирование с черчением, математикой и информатикой. Все это формирует основу для возможной адаптации части зарубежных моделей с учетом национального контекста.

5. Заключение

Цифровая трансформация образования требует не только внедрения новых технологий, но и переосмысления педагогических подходов. Анализ зарубежного опыта показал, что 3D-моделирование становится неотъемлемым компонентом современной образовательной среды, особенно в контексте развития инженерного мышления, креативности и цифровых компетенций. Страны, добившиеся наиболее заметных успехов в данной области, — США, Южная Корея, Китай и Сингапур — реализуют системные меры: от обновления учебных программ до создания специализированной инфраструктуры и многоуровневой подготовки педагогов.

Российская практика демонстрирует наличие перспективных наработок, но также указывает на необходимость более глубокой интеграции 3D-моделирования в общеобразовательную школу. Необходимо, чтобы технологии не оставались только «техническими новшествами», а стали инструментами развития личности и профессионального самоопределения школьников. Несмотря на различия в политике и ресурсах, успешный опыт внедрения 3D-моделирования в системах образования за рубежом имеет ряд общих черт: междисциплинарность, проектный подход, внимание к подготовке педагогических кадров и устойчивость технологической среды. Данные принципы могут и должны быть адаптированы в российском контексте.

Таким образом, 3D-моделирование — не просто модная технологическая опция, а важный элемент цифровой образовательной среды, способный значительно повлиять на качество школьного образования, его практико-ориентированность и соответствие вызовам XXI века.

Список источников

1. Роберт И. В. Цифровая трансформация образования: вызовы и возможности совершенствования // Информатизация образования и науки. 2020. № 3 (47). С. 3–16. EDN: SQWADW.

2. Сухнев М. А. Использование 3D-печати в дизайн-образовании // Санкт-Петербургский образовательный вестник. 2016. № 2 (2). С. 64–68.
3. Chen Jimin, Cheng, Lying. The Influence of 3D Printing on the Education of Primary and Secondary School Students // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1976. Article 012072. DOI: 10.1088/1742-6596/1976/1/012072.
4. Chien Y.-H., Liu C.-Y., Chan S.-C., Chang Y.-S. Engineering design learning for high school and college first-year students in a STEM battlebot design project // International Journal of STEM Education. 2023. Vol. 10. Article 10. DOI: 10.1186/s40594-023-00403-0.
5. Davies S., Seitamaa-Hakkarainen P. Research on K-12 maker education in the early 2020s – a systematic literature review // International Journal of Technology and Design Education. 2025. Vol. 35. P. 763–788. DOI: 10.1007/s10798-024-09921-6.
6. Ioannou A., Gravel B. E. Trends, contradictions, and the future of maker education research: A vision for 2025 disciplinary and transdisciplinary STEM+ learning through making spaces // Educational Technology Research and Development. 2024. Vol. 72. P. 1–14. DOI: 10.1007/s11423-023-10334-w.
7. Johnson L., Adams Becker S., Estrada V., Freeman A. The NMC Horizon Report: 2014 K–12 Edition. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2014. 50 p.
8. Kalolo J. F. Digital revolution and its impact on education systems in developing countries // Education and Information Technologies. 2019. Vol. 24. P. 345–358. DOI: 10.1007/s10639-018-9778-3.
9. Martin L. The promise of the Maker movement for education // Journal of Pre-College Engineering Education Research. 2015. Vol. 5 (1). P. 30–39. DOI: 10.7771/2157-9288.1099.
10. National Research Council. Successful K–12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Washington, DC: The National Academies Press, 2011. 144 p.
11. Ng W. Design Your City: A STEAM project-based learning framework using 3D modelling // Journal of STEM Education Research. 2021. Vol. 4 (1). P. 15–30. DOI: 10.1007/s41979-021-00058-4.
12. Ren F. The construction and application of smart classrooms in China: A literature review based on 93 studies // Science Insights Education Frontiers. 2024. Vol. 23. No. 1. P. 3705–3724. DOI: 10.15354/sief.24.re385.
13. Sung J., Lee J. Y., Chun H. Y. Short-term effects of a classroom-based STEAM program using robotic kits on children in South Korea // International Journal of STEM Education. 2023. Vol. 10. Article 26. DOI: 10.1186/s40594-023-00417-8.
14. Tan C. Y. Enhancing design thinking through 3D modelling in Singapore's education system // Asia-Pacific Journal of Education. 2018. Vol. 38 (2). P. 250–264. DOI: 10.1080/02188791.2018.1452393.
15. Xinyu Yu, Zezhong Yang. STEM education in China: A five years review report // Asian Journal of Education and Social Studies. 2022. Vol. 32. Is. 1. P. 1–11. DOI: 10.9734/ajess/2022/v32i130758.
16. Zeng W. An empirical study of China's policy on integrating ICT into basic education from 1988 to 2021 // Educational Technology Research and Development. 2022. Vol. 70. P. 1059–1082. DOI: 10.1007/s11423-022-10079-y.