

**Возможности 3D-моделирования
для развития исследовательских умений школьников
в условиях дополнительного образования**

**The potential of 3D-modeling
for the development of students' research skills
in the context of additional education**

Авторы статьи

Матвеев Владимир Владимирович,
доктор экономических наук, ректор ФГБОУ ВО «Орловский государственный институт культуры»,
г. Орёл, Российская Федерация
rector@ogik.ru
ORCID: 0000-0003-2906-5716

Грибков Дмитрий Николаевич,
кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой информатики и документоведения ФГБОУ ВО «Орловский государственный институт культуры»,
г. Орёл, Российская Федерация
bibliotekar2005@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3388-9526

Authors of the article

Vladimir V. Matveev,
Doctor of Economic Sciences, Professor, Acting Rector, Orel State Institute of Culture, Orel, Russian Federation
rector@ogik.ru
ORCID: 0000-0003-2906-5716

Dmitry N. Gribkov,
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Computer Science and Records Management, Orel State Institute of Culture, Orel, Russian Federation
bibliotekar2005@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3388-9526

Конфликт интересов

Конфликт интересов не указан

Conflict of interest statement

Conflict of interest is not declared

Для цитирования

Матвеев В. В., Грибков Д. Н. Возможности 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников в условиях дополнительного образования // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2024. – № 01. – С. 56–77. – URL: <https://e-koncept.ru/2024/241005.htm> DOI 10.24412/2304-120X-2024-11005

For citation

V. V. Matveev, D. N. Gribkov, The potential of 3D-modeling for the development of students' research skills in the context of additional education // Scientific-methodological electronic journal "Koncept". – 2024. – No. 01. – P. 56–77. – URL: <https://e-koncept.ru/2024/241005.htm> DOI: 10.24412/2304-120X-2024-11005

Поступила в редакцию <i>Received</i>	30.10.23	Получена положительная рецензия <i>Received a positive review</i>	14.12.23
Принята к публикации <i>Accepted for publication</i>	14.12.23	Опубликована <i>Published</i>	31.01.24



Аннотация

Важной задачей, стоящей перед педагогом цифровой школы, является подготовка выпускника, способного использовать полученные знания в практической деятельности и предлагать нестандартные решения, востребованные Индустрией 4.0. Авторами исследуется проблема обоснования эффективности применения 3D-моделирования для формирования исследовательских умений обучающихся в условиях дополнительного образования. Цель исследования – изучить возможности 3D-моделирования на занятиях в системе дополнительного образования для развития исследовательских умений школьников. В работе используется следующая классификация исследовательских умений: операционные, коммуникативные, организационные, информационные. Для них авторами определены соответствующие показатели: проведение наблюдений и исследований; выдвижение гипотезы; планирование деятельности; анализ информационных источников. Научная новизна заключается в том, что обосновываются возможности использования 3D-моделирования как аддитивной технологии для подготовки выпускников школ, способных успешно самореализовываться в условиях креативной индустрии. Теоретическая значимость: выявлены дидактические возможности средств 3D-моделирования в условиях дополнительного образования, способствующие развитию исследовательских умений школьников за счет повышения наглядности представления изделия, универсальности, отсутствия необходимости в дополнительной физической модели, относительной скорости получения чертежей и макетов. Опытно-экспериментальная работа проводилась на базе Центра прототипирования Орловского государственного института культуры, в студиях блогинга и видеотворчества. При диагностике оценивались модели и объекты, напечатанные на 3D-принтере. В качестве метода статистической обработки использован критерий χ^2 (хи-квадрат) Пирсона. В результатах представлена программа занятий для модуля «Креативное моделирование», позволяющего в ходе выполнения междисциплинарных заданий развивать исследовательские навыки участников студий. Разработана система заданий для поддержки всех этапов деятельности обучающихся. В заключении сделаны выводы о потенциале 3D-моделирования: выдвижение гипотезы естественно-научного характера и осуществление ее проверки экспериментальным путем; овладение методикой самостоятельного планирования и проведения эксперимента с соблюдением правил техники безопасности и т. д. Сформулированы трудности, которые осложняют использование 3D-моделей: проблема подготовки наставников к включению технологии; организация доступа учеников к оборудованию. Полученные результаты могут быть применены на занятиях в системе дополнительного образования для профориентационной работы, организации свободного времени и поддержки интеллектуального развития школьников.

Abstract

An important task facing a digital school teacher is to prepare a graduate who is able to use the acquired knowledge in practice and offer non-standard solutions demanded by Industry 4.0. The authors investigate the problem of substantiating the effectiveness of 3D-modeling use for building up research skills of students in the context of additional education. The purpose of the study is to explore the potential of 3D-modeling in the classroom in the system of additional education for the development of research skills of schoolchildren. The following classification of research skills is used in the work: operational, communicative, organizational, informational. The authors have identified the appropriate indicators for them: conducting observations and research; hypothesizing; planning activities; analysis of information sources. The scientific novelty lies in the fact that the potentials of using 3D-modeling are substantiated as an additive technology for training school graduates who should be able to successfully self-actualize in the conditions of the creative industry. Theoretical significance – the authors identified didactic capabilities of 3D-modeling tools in the context of additional education contributing to the development of students' research skills by increasing the visibility of the product presentation, versatility, the absence of the need for an additional physical model, the relative speed of obtaining drawings and layouts. Experimental work was carried out on the basis of the Center for Prototyping of the Orel State Institute of Culture, in the studios of blogging and creative video. Models and objects printed on a 3D-printer were evaluated during diagnostics. Pearson's χ^2 (chi-square) test was used as a statistical processing method. The results present a program of classes for the module "Creative Modeling", which allows developing the research skills of studio participants during carrying out interdisciplinary tasks. A system of tasks has been worked out to support all stages of students' activities. Conclusions are drawn about the potential of 3D-modeling: putting forward a hypothesis of a natural-scientific character and testing it experimentally; mastering the methodology of independent planning and conducting an experiment in compliance with safety regulations, etc. The difficulties that complicate the use of 3D-models are formulated: the problem of training mentors to use technology; the organization of students' access to equipment. The results obtained can be used in classes in the system of additional education for career guidance work, organizing free time and supporting the intellectual development of students.

Ключевые слова

Индустрия 4.0, аддитивные технологии, исследовательская деятельность, междисциплинарный проект, креативное моделирование

Key words

Industry 4.0, additive technologies, research work, interdisciplinary project, creative modeling

Благодарности

Авторы выражают благодарность федеральному государственному бюджетному образовательному учреждению высшего образования «Орловский государственный институт культуры», руководителям студий блогинга и «Перспектива» за поддержку педагогических инноваций и применение 3D-моделирования.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the Federal State budgetary educational institution of higher education "Orel State Institute of Culture", to the executives of blogging and Perspektiva studio for supporting pedagogical innovations and the use of 3D modeling.

Введение / Introduction

В выводах, сформулированных в докладе Римского клуба, представляющих результаты аналитической работы центра Development Alternatives и экспертов из Организации Объединенных Наций, отражен следующий факт: ключевая задача современного образования – не только формирование у обучающихся глубоких фундаментальных знаний, но и развитие исследовательских умений и практических навыков в области новейших технологий [1].

К. Шваб, основатель и президент Всемирного экономического форума, в 2016 году отмечал, что мир стоит на рубеже четвертой промышленной революции. По его мнению, новые технологии Индустрии 4.0 должны позволить уже в ближайшем будущем объединить в себе физические, информационные и биологические миры [2].

По выводам А. А. Крушанова, основными направлениями Индустрии 4.0 являются следующие передовые технологии: интернет вещей, искусственный интеллект, аддитивное производство [3]. Постепенно меняются и требования к профессиям будущего, подвергаются переосмыслению трудовые функции специалистов, которым предстоит работать в сфере образования, культуры и науки [4].

Великобритания еще в 2017 году объявила о своих планах стать мировым лидером в сфере аддитивных технологий. Основные положения и направления развития закреплены в «Национальной стратегии аддитивного производства Великобритании на 2018–2025 годы» [5].

В России была принята Стратегия развития информационного общества, ориентированная на формирование информационного пространства с учетом потребностей граждан и вызовов будущего [6].

В сентябре 2021 года в России было опубликовано Распоряжение о Концепции развития творческих индустрий и механизмов их поддержки. В положениях Концепции отмечается, что необходима комплексная оценка цифровой зрелости системы образования, поиск оптимальных дидактических стратегий для поддержки креативного сектора: от инновационной идеи до ее реализации и представления изобретения на международном рынке [7]. В разделе II Распоряжения указывается, что планирование и формирование содержания для модулей по всему спектру творческих (креативных) индустрий должно происходить на государственном уровне с их последующим включением в программы для высшего образования ведущих российских университетов.

Как указывает Ю. И. Дик, развитие исследовательских умений и научного мировоззрения в целом предполагает реформирование всей системы подготовки выпускников [8]. Изменение принципов и подходов к обучению ведет к неизбежному поиску новых подходов и приемов к организации дидактического процесса. Примером подобных инноваций может стать внедрение аддитивных технологий в систему как общего, так и дополнительного образования.

В Концепции развития дополнительного образования детей до 2030 года определяется необходимость разработки вариативных программ, учитывающих интересы и склонности обучающихся к научной, творческой, спортивной и т. д. деятельности [9].

П. А. Фомбона, Х. Фомбона, Р. Висенте в качестве варианта для повышения эффективности подготовки школьников и формирования исследовательских умений предлагают применять методы компьютерного моделирования [10].

Как отмечают Дж. Марич, М. Опazo-Базаез, В. Виачик и М. Дабик, 3D-моделирование и прототипирование обладают несомненным дидактическим потенциалом, связанным с такими возможностями, как повышение наглядности, визуализация

сложных объектов, реализация интерактивности [11]. Интеграция информационных технологий в дополнительное образование происходит благодаря применению систем компьютерного моделирования (TinkerCAD, 3ds Max, Blender, Inventor, Fusion 360) и специализированных программ по подготовке 3D-моделей к печати (Cura, FlashPrint, Netfabb), работе с оборудованием для 3D-печати.

Но при этом в российской системе образования практически отсутствуют целостные методические подходы:

- 1) научно обосновывающие применение технологии 3D-моделирования в дополнительном образовании;
- 2) направленные на развитие исследовательских умений школьников.

В основном проводятся единичные исследования, посвященные описанию этапов введения технологии 3D-печати в образовательный процесс [12].

В то же время, как показывают Е. Н. Малова, В. Г. Шубович, М. М. Шубович, если цифровые средства использовать умеренно и с учетом требований (норм) СанПиНа, то можно создавать дополнительные дидактические возможности для развития у подрастающего поколения операционных, информационных, коммуникативных и организационных умений [13].

Гипотеза исследования: включение в систему дополнительного образования работы школьников с 3D-моделями будет способствовать формированию умственных операций и прикладных действий исследовательского характера, если будут учтены функции исследовательской деятельности, возможности дополнительного образования и технологии 3D-моделирования для поддержки развития операционных, информационных, коммуникативных и организационных умений.

Цель исследования – изучить возможности 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников на занятиях в учреждениях дополнительного образования.

Для достижения поставленной цели были определены задачи:

- 1) конкретизировать понятие исследовательских умений, определить особенности их формирования в рамках дополнительного образования;
- 2) определить дидактический потенциал технологии 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников;
- 3) разработать систему занятий, вариантов заданий и моделей-образцов для поддержки деятельности обучающихся в ходе реализации программ дополнительного образования;
- 4) экспериментально проверить эффективность развития исследовательских умений обучающихся посредством внедрения технологии 3D-моделирования в программу занятий.

Обзор литературы / Literature review

Дж. Саволайнен, М. Коллан заключают, что развитие передовых технологий Индустрии 4.0 будет во многом влиять на эволюцию креативных сообществ [14]. Потребуется совершенствование средств и методов применения цифровых инноваций в подготовке молодежи.

Е. Г. Гордеев, В. П. Анаников указывают, что в настоящее время важно знакомить обучающихся с такими инструментами информационных технологий, которые будут востребованы в их будущей жизни в условиях цифровой экономики [15]. Среди

таких перспективных технологий можно выделить 3D-моделирование и прототипирование. И. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер отмечают, что аддитивное производство обеспечивает цифровую гибкость и эффективность творческого предпринимательства [16]. 3D-печать выходит за рамки промышленного прототипирования и производственного процесса. Эта технология стала более доступной для образовательных учреждений и даже частных лиц. Дж. Марич, М. Опазо-Базаез, В. Виачик и М. Дабик высказывают предположение, что технологии трехмерного моделирования и соответствующие прикладные инструменты являются основой для креативной Индустрии 5.0 [17].

Э. Бауэр, Н. Хайцманн, Ф. Фишер систематизируют перспективные направления развития в научных исследованиях о применении моделирования для образовательных целей, профессиональной ориентации и воспитания [18]. Авторы определяют и векторы дальнейшего развития, например использование симуляционных технологий, подразумевающих применение виртуальных тренажеров. Моделирование как научно-исследовательская деятельность побуждает обучающихся к активной деятельности, что повышает интенсивность их мыслительных процессов.

И. В. Ерошкина считает, что исследовательское умение характеризуется сознательным владением совокупностью операций, «являющихся способами осуществления умственных и практических (в том числе творческих) исследовательских действий, составляющих исследовательскую деятельность» [19].

Наиболее логичной с точки зрения проводимого исследования является классификация умений, предложенная В. И. Андреевым. Ученый выделяет четыре группы умений: операционные, информационные, коммуникативные и организационные [20]. Данная классификация в целом соответствует основным функциям педагогической деятельности и наиболее полно определяет номенклатуру исследовательских умений.

Как отмечают И. Д. Столбова, Л. В. Кочурова, К. Г. Носов, традиционные системы 2D-изображения (проекционные) как по информативности, так и в технологическом отношении стали вторичными [21]. Основная концепция дополнительного образования, по выводам Ю. В. Корнилова, И. А. Иванова, изначально и целиком должна опираться на цифровую 3D-(объемную) модель, объединяющую информацию об изделии на всех этапах его жизненного цикла [22]. Авторы указывают, что имеющийся потенциал межнаучных отношений и межпредметных связей поможет современному дополнительному образованию преодолеть возникающие трудности и успешно развиваться в новых условиях. Однако необходимо наличие соответствующего методологического обоснования, педагогического исследования с отражением в методике и содержании обучения на уровне примерных программ.

Т.-Ч. Хуан, М.-Ю. Чен, Ч.-Ю. Линь на экспериментальных данных показывают, что использование трехмерных моделей реальных предметов – важное средство для передачи информации, способное существенно повысить эффективность обучения [23]. Авторы отмечают универсальный характер метода моделирования для активизации познания в среде трехмерной графики. По выводам авторов, манипуляция с 3D-моделями максимально работает на развитие мыслительных процессов.

Ч.-Ю. Хуан, Дж. Ванг с практической точки зрения описывают подход, в котором предлагают с начальной школы формировать у детей представления и умения, связанные с 3D-проектированием (моделированием) и 3D-печатью [24]. В результате их работы над концепцией программы были сформулированы наиболее значимые цели соответствующего курса в подготовке выпускников:

- 1) развитие пространственного воображения и логического мышления;
- 2) поддержка творческой активности и самостоятельности школьников при их обучении 3D-моделированию;
- 3) формирование представлений о работе в команде, способах планирования деятельности и коммуникации;
- 4) формирование и закрепление первоначальных знаний и представлений об объектах окружающего мира, их устройстве и назначении.

Л. Ченг, П. П. Антоненко, А. Ритцхаупт, К. Доусон, Д. Миллер, Б. Макфадден, С. Грант, Т. Шеппард, М. Зиглер указывают, что участие школьников в 3D-моделировании способствует активизации познания, повышению интереса и росту мотивации [25]. По результатам анализа значительного числа научно-методических работ авторы заключают, что технология 3D-печати произвела революцию в том, как проводятся образование и исследования в области STEM (наука, технология, инженерия и математика). Эта революционная технология, по их выводам, представляет собой проектное обучение и свободное изобретательское творчество, способствующее:

- развитию математического мышления для двух- и трехмерного измерения при сборке из плоской формы в объем;
- проектированию функциональных объектов и простых механизмов при инженерном творчестве;
- реализации творческих возможностей в цветовом решении;
- развитию критического мышления в отношении существующих проблем и вызовов будущего.

Реализация подобных образовательных практик в представленном авторами исследовании происходит за счет средств специального финансирования (гранта).

Б. Аньич, Э. Ульбрих, Т. Дана-Пикард, С. Цветичанин, Ф. Петрович, З. Лавица, М. Марича развивают их идеи, отмечая, что 3D-моделирование способствует [26]:

- формированию и развитию творческих и технических способностей школьников;
- организации образовательного процесса на основе социокультурных, духовно-нравственных ценностей;
- созданию и обеспечению необходимых условий для профессионального самоопределения;
- формированию основ научной картины мира.

Особенностью их методологического подхода является то, что авторы обосновывают важность подготовки самих учителей к включению средств 3D в преподавание. По их выводам, наставникам нужна дополнительная специально-техническая подготовка, позволяющая реализовывать дидактический потенциал 3D в полном объеме, например, как подключать и использовать 3D-принтеры.

Х. Пирсон, А. Дьюб отмечают, что дополнительное образование на базе 3D-моделирования обеспечивает школьников большими знаниями, чем урок по физике, биологии или математике [27]. Акцент на практическом обучении с реальными приложениями, устройствами и макетами помогает осваивать научно-исследовательские умения. Ученые выделяют навыки, которые формируются при 3D-моделировании: критическое мышление, креативность, любознательность, принятие оригинальных нестандартных решений, лидерство, творческое предпринимательство. Независимо от будущей карьеры, эти наборы навыков, по выводам авторов, имеют большое значение для подготовки детей к инновациям.

Образовательное 3D-моделирование получает широкое распространение в практике тематических летних лагерей, например Try Engineering Summer Camp (США).

Для России области архитектуры и инженерии были первыми, где технологии быстрого прототипирования использовались в образовательных целях [28].

А. Т. Фаритов отмечает, что проекты с применением 3D-прототипирования должны предусматривать разработку обучающимися собственных уникальных моделей, обладающих определенной практической или эстетической пользой [29]. В статье представлено обобщение опыта автора по введению 3D-печати в дополнительное образование на базе гимназии Ульяновска. На основании обобщения экспериментальных данных А. Т. Фаритов заключает, что только при правильном методологическом подходе внедрение 3D-моделирования в научно-исследовательскую деятельность школьников может принести пользу. Правильное планирование такой деятельности в соответствии с возрастом школьников может внести креативную линию в обучение и подготовить их к вызовам индустрии будущего. Однако такого подхода автором ни в этой, ни в дальнейших работах не предлагается.

Более содержательный в плане научной обоснованности вариант по применению средств 3D-моделирования для обучения школьников представлен в работе Е. А. Михляковой, Т. Н. Суворовой [30]. Авторы описывают направления педагогической поддержки творческой созидательной деятельности школьников в рамках персонализированной модели обучения на базе технологий 3D. Но, к сожалению, ими не указывается потенциал передовых технологий для формирования именно научно-исследовательских умений школьников в рамках дополнительного образования.

Е. Е. Петров представляет результаты изучения зарубежного опыта обучения биологии на основе 3D-моделей [31]. Автор анализирует специализированные программные продукты и средства, позволяющие реализовать изучение отдельных разделов биологии с использованием инструментов трехмерного геометрического моделирования. По его выводам, технология 3D-обучения является одной из новых образовательных технологий, реализуемых с использованием информационно-телекоммуникационных средств в процессе виртуального взаимодействия школьника с учебным ресурсом.

О. Н. Васильева, Н. В. Коновалова описывают более целостную методическую работу в кружках и студиях, ориентированную не только на одаренных детей, имеющих высокие академические результаты, но и на школьников, имеющих не очень высокие достижения по базовым предметам [32]. Авторы доказывают, что инженерные студии являются инструментом профессиональной навигации. Работа с 3D-моделями в дополнительном образовании дает возможность развивать способности и навыки технического мышления у современных школьников. Отличие проекта – вовлечение в образовательный процесс студентов технических направлений подготовки в качестве наставников при выполнении школьниками исследовательских и проектных работ. Однако не представлен ни учебный план, ни поурочное планирование, которые позволили бы другим педагогам в ходе выполнения прикладных учебных заданий развивать исследовательские навыки обучающихся.

Т. В. Машарова, М. С. Перевозчикова, Н. А. Бушмелева, И. Ю. Хлобыстова научно обосновывают необходимость совершенствования модели обучения с учетом возможностей 3D-технологий как ответа на вызовы Индустрии 4.0 [33]. При этом описываются ресурсы 3D-моделирования для обеспечения конкурентоспособности, поддержки профессиональной самореализации выпускников, развития востребованного

инновационного мышления. Однако представленное исследование ориентировано на подготовку студентов вуза и не учитывает специфику системы дополнительного образования.

Таким образом, 3D-технология имеет значительный дидактический потенциал, чтобы повысить качество подготовки школьников в системе дополнительного образования. Соответствующая информационная среда показывает себя многообещающим ресурсом, особенно для образования в области науки, технологий, инженерии, искусства и математики.

В представленном аналитическом обзоре зарубежные и отечественные исследователи выявляют различные преимущества интеграции аддитивных технологий в преподавание в соответствии с вызовами Индустрии 4.0:

- возможности 3D-моделирования для поддержки познавательного интереса и мотивации обучающихся;
- потенциал 3D-моделирования для развития инновационного мышления, креативного производства;
- возможности 3D-моделирования для профессионального самоопределения;
- ресурсы 3D-моделирования для поддержки интереса и вовлеченности самих наставников.

Проводятся комплексные исследования по совершенствованию подготовки инженерных и педагогических кадров в пространстве ведущих российских университетов страны и мира.

И все же, несмотря на выявленный потенциал 3D-моделирования, лишь немногие педагоги используют эту новую среду и технологию для развития научно-исследовательских умений школьников. И фактически не используются ресурсы информационной среды дополнительного образования для их формирования.

Это определяет потребность в разработке подхода, представляющего возможность усовершенствовать методику организации исследовательской деятельности школьников в условиях дополнительного образования, тем самым способствуя развитию их исследовательских умений, за счет включения в содержание компонентов, связанных с технологией 3D-моделирования.

Методологическая база исследования / Methodological base of the research

Для решения поставленных задач использовались следующие методы исследования:

1. Теоретический анализ и обобщение литературы для уточнения сущности научно-исследовательской деятельности, определения понятия «исследовательские умения» и показателей их сформированности. В работе используется следующая классификация умений: операционные, коммуникативные, организационные, информационные. Эти умения, соответствующие классификации В. И. Андреева, были выбраны из ряда других по следующим критериям: соответствие направлениям исследовательской деятельности в системе дополнительного образования; учет возрастных особенностей школьников [34]. Например, не менее достойные классификации, предложенные Н. В. Литовченко [35] и П. Ю. Романовым [36], ориентированы в основном на студентов.

2. Анализ дидактических возможностей применения 3D-моделирования для формирования исследовательских умений школьников.

3. Экспериментальной базой исследования является Центр прототипирования – «Центр креативных индустрий» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Орловский государственный институт культуры» (далее – ЦКИ ФГБОУ ВО «ОГИК»). Он создан 1 апреля 2022 года.

Для размещения лабораторий Центра креативных индустрий оборудованы четыре помещения: основной зал (площадь 222,0 м²), арт-зона (44,5 м²), лаборатория аудиоконтента (86,0 м²), лаборатория фото- и видеоконтента (42,6 м²).

Целевая аудитория проекта: талантливые подростки и взрослые; творческие команды города Орла и региона; самозанятые и индивидуальные предприниматели; представители бизнес-сообществ; социальные НКО; образовательные учреждения; блогеры, DJ, фотографы, видеографы, учреждения культуры и досуга.

Внедрение 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников осуществлялось при проведении занятий в студиях блогинга и видеотворчества («Перспектива»).

Практическое применение полученных 3D-моделей реализовано и в деятельности Орловского объединенного государственного литературного музея И. С. Тургенева, театра кукол, на территории Дома-музея В. А. Русанова.

При диагностике сформированности исследовательских умений школьников оценивались продукты учебной деятельности обучающихся – компьютерные модели и объекты, напечатанные на 3D-принтере.

Оценка производилась два раза: до внедрения в учебный процесс средств 3D-моделирования в студиях блогинга и видеотворчества («Перспектива») и после.

Для выполнения требования репрезентативности размер совокупности исследуемых равен количеству всех обучающихся в студиях Центра.

По итогам оценки 3D-проекта определялся уровень исследовательских умений школьника. Уровни определялись следующим образом: начальный (репродуктивный), основной (частично-поисковый), высокий (исследовательский). Их интерпретация и процедура оценки представлены далее.

При составлении заданий и определении уровней в соответствии с критериями сформированности исследовательских умений школьников учтены принципы конструирования заданий для всероссийских олимпиад школьников по 3D-моделированию.

4. Было задействовано 48 обучающихся. Средний возраст респондентов – 13 лет (45% девушек и 55% молодых людей). Статистическая обработка полученных экспериментальных данных выполнена с помощью критерия χ^2 (хи-квадрат) Пирсона.

Результаты исследования / Research results

Уточнение основных понятий

Цифровые образовательные технологии обладают несомненным дидактическим потенциалом для развития исследовательских умений благодаря тому, что позволяют преобразовать традиционное обучение в исследовательское, в основе которого лежит продуктивная деятельность самих обучающихся. Кроме того, актуальность их использования возрастает при отсутствии лабораторных приборов, в случаях возникновения рисков в результате проведения некоторых научных экспериментов, а также в условиях высокой стоимости материалов, необходимых для лабораторных исследований.

В представленной работе под исследовательскими умениями школьников понимается их способность сознательно выполнять умственные и практические действия, соответствующие логике научного исследования.

Показателями сформированности исследовательских умений школьников, согласно В. И. Андрееву, являются: проведение наблюдений и исследований при моделировании; выдвижение гипотезы; планирование исследовательской деятельности; анализ информационных источников [37].

Учебно-исследовательская деятельность создает базу для организации более сложного уровня исследовательской деятельности обучающихся – научно-исследовательской.

Основной путь для формирования исследовательских умений в дополнительном образовании – это использование проблемного подхода к обучению. Систематическое создание проблемных ситуаций стимулирует познавательную поисковую деятельность школьников. Результатом этого является самостоятельное решение нестандартных задач, сравнительный анализ и обобщающие выводы, к которым приходит ученик. При этом перспектива решения проблемы собственными силами вдохновляет обучающихся, мобилизует их волевые усилия, делает познавательный процесс более привлекательным и личностно значимым.

Кроме того, нестандартные ситуации исследования формируют такие востребованные качества личности, как самостоятельность и системность мышления, независимость, гибкость и критичность суждений.

Вовлечение обучающихся в ситуации исследования в рамках дополнительного образования дает наибольший эффект, так как здесь преобладают ученики с повышенной мотивацией и максимальной ориентацией на академические достижения.

Программы для занятий следует составлять таким образом, чтобы школьники могли наиболее полно проявить индивидуальность, творческие способности, готовность к профессиональной самореализации. Формирование и развитие исследовательских умений может происходить также в процессе проектной деятельности обучающихся. При выполнении проектов необходимо так или иначе задействовать все виды исследовательских умений: операционные, организационные, практические и коммуникативные.

Одним из средств развития исследовательских умений школьников могут выступать средства информатизации образования, а именно средства, поддерживающие технологии 3D-моделирования и прототипирования.

3D-моделирование – это процесс создания трехмерной модели объекта. Задача 3D-моделирования – разработать визуальный объемный образ желаемого объекта. С помощью трехмерной графики можно создать точную копию конкретного предмета и разработать новый, ранее не существовавший объект. Процесс создания трехмерной модели включает следующие этапы: моделирование, текстурирование, настройка освещения и точки наблюдения, визуализация (рендеринг).

Дополнительное образование в ЦКИ ФГБОУ ВО «ОГИК» проводится по техническим, естественно-научным, социально-гуманитарным, художественным, туристско-краеведческим направлениям.

Образовательная модель Центра предполагает использование элементов из различных педагогических технологий: игровой, проектной технологии, технологии традиционного обучения и др. Такое интегрированное обучение способствует:

- развитию научного стиля мышления;
- применению естественно-научного метода познания;
- подготовке к инновационной деятельности для Индустрии 4.0;
- формированию метапредметных умений и навыков.

Усвоение школьниками теоретического материала осуществляется через решение ими той или иной задачи, проблемной ситуации. Большое значение имеет использование таких заданий, которые предполагают изучение одного вопроса или познание одного объекта из разных областей знаний (физика, математика, психология, литература, история).

Конструирование системы заданий включает последовательность следующих этапов:

1. Определение цели и задач с учетом двух аспектов: формального и содержательного.

2. Выбор основ интеграции и системообразующего стержня. Например, назначение 3D-модели: символика для Дня Победы, персонаж для компьютерной игры или атрибут для соревнований.

3. Создание структуры занятий (например, модуля).

Основной целью деятельности Центра является организация необходимых социально-культурных условий, позволяющих креативным сообществам и талантливым людям создавать креативные проекты и творческие продукты. Центр креативных индустрий посещают внешние резиденты для создания прототипов, мероприятия освещают региональные СМИ, работу оценивает Министерство культуры РФ.

Далее представлено тематическое планирование модуля «Креативное моделирование». Вариативный модуль было решено включить в рабочие программы студий с целью реализации выявленного дидактического потенциала 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников.

4. Организация процесса обучения с использованием совокупности комплексных и индивидуальных форм обучения.

Модуль «Креативное моделирование»

В студии блогинга обучающиеся получают базовые знания блогера-инфлюенсера:

- актерское мастерство и сценическая речь;
- проектирование объемного изображения объекта в цифровом пространстве;
- изготовление качественных 3D-моделей и видеоконтента;
- развитие собственного блога средствами 3D-редактора;
- практика в продюсерском центре и сопровождение виртуального 3D-блогера;
- участие в съемках трехмерных роликов и шоу.

В студии «Перспектива» проводятся занятия по рисунку, графике и лепке. Например, школьники изучают классический и декоративный рисунок, передачу объема и пространства, композицию, свойства графических материалов и приемы работы.

Модуль призван развить умения использовать трехмерные графические представления информации в процессе обучения, предназначен для последующего прикладного использования обучающимися.

Модуль вносит значительный вклад в формирование исследовательских умений и навыков, выработка которых является одним из приоритетов современного образования и Центра креативных индустрий.

Новизна и отличительные особенности программы модуля состоят в том, что 3D-моделирование выступает как интегрирующая база для основных направлений дополнительного образования: естественно-научной, технической, социально-гуманитарной, художественной и т. д.

В рамках обучения участники могут получить представление о профессиях будущего, например о профессии 3D-моделлера.

3D-моделлер – это профессия в области 3D-дизайна, востребованная в создании игр, фильмов, рекламы, в креативных индустриях, в создании предметов декора и мебели, различной техники. Его деятельность предполагает разработку 3D-моделей персонажей, предметов и объектов окружения; текстурирование моделей, настройку материалов; оптимизацию моделей для мобильных устройств т. п.

3D-моделлеры также занимаются полигональным конструированием 3D-моделей декоров, панно, мебели по эскизам и фотографиям.

Участники студий осваивают азы трехмерного моделирования достаточно быстро и начинают применять свои знания на практике. В работе реализуется возможность обучения 3D-графике в программном обеспечении, находящемся в свободном доступе. Педагогическая целесообразность заключается в том, что система занятий модуля позволяет выявить обучающихся, проявляющих максимальный интерес и способности к 3D-моделированию, оказать им помощь в формировании исследовательских умений как основы академической и профессиональной реализации.

Участники студий приобретают востребованные обществом Индустрии 4.0 навыки построения моделей с помощью 3D-принтера.

Материал модуля излагается с учетом возрастных особенностей обучающихся и уровня их знаний. Занятия построены как система тщательно подобранных упражнений и заданий, ориентированных на межпредметные связи.

Темы и краткое содержание занятий

1. Беседа по правилам поведения обучающихся в студии. Инструктаж по технике безопасности работы с компьютерной техникой. Организация работы в компьютерном классе.

Развитие новых технологий. Задачи и проблемы развития технологий в современной жизни.

2. Изучение основ технического черчения.

3. Виды изделий и конструкторских документов. Общие определения.

3.1. Правила оформления чертежей: штриховка в разрезах и сечениях, линии чертежа и их обводка, шрифты, размеры, буквенные обозначения на чертежах, масштабы, форматы чертежей, стандарты.

3.2. Проекционное черчение: прямоугольные проекции, расположение видов (проекций) на чертежах, построение проекций геометрических тел, разрезы и сечения. Тестовое задание – чертеж от руки.

4. Знакомство с программой (например, «КОМПАС-3D»). Темы: «Типы документов и файлов», «Основные компоненты программы. Интерфейс», «Контекстные меню. Главное меню и панели инструментов» и т. п. Тестовое задание – 2D-эскиз.

5. Чертеж. 2D-моделирование (оформление чертежа, параметры текущего чертежа, получение изображения в разных масштабах и др.). Тестовое задание – 2D-чертеж по модели.

6. Деталь. 3D-моделирование (например, создание модели с помощью операции «Выдавливание» и вырезание «Выдавливанием», дополнительные элементы: фаски, скругления). Тестовое задание – 3D-объект по модели.

7. Знакомство с программой трехмерного параметрического моделирования, например FreeCAD («Интерфейс. Основные компоненты программы. Виды документов», «Общие приемы работы. Верстаки. Командные панели. Панели инструментов» и т. п.).

8. Построение трехмерной модели с использованием панели примитивов (например, «Инструментальная панель примитивов», «Виды примитивов» и т. п.).

Построение 3D-объекта по образцу

9. 3D-печать трехмерных моделей. 3D-принтер. Применение 3D-принтеров в различных сферах человеческой деятельности. Техника безопасности при работе с 3D-принтерами.

10. Знакомство с моделью 3D-принтера “Picaso”. Программное обеспечение “Poligon 2.0”.

11. Печать первой 3D-модели с использованием ранее созданного в программе трехмерного параметрического моделирования 3D-объекта. Построение 3D-модели по собственному замыслу.

Для каждого проекта педагог заранее заготавливал модели-образцы.

Пример междисциплинарного проекта: задание по изготовлению лодки, которая должна плавать, а не тонуть. Работу можно начать с изучения или повторения темы из физики «Закон Архимеда». Для усложнения задания – добавить возможность перевозки груза определенного веса.

Здесь прослеживается и проблемный подход к обучению. В результате объявления данного задания у участников студий возникает ряд исследовательских вопросов, которые они решают далее в процессе занятия. В парной работе обучающиеся формулируют проблемы и будут выдвигать гипотезы, например, какая должна быть лодка, чтобы она не утонула. После создания модели объекта в системе автоматизированного проектирования и последующей ее распечатки далее будет этап экспериментирования.

В результате опытов над полученным объектом будут сделаны выводы о правильности гипотез и возможном устранении недостатков модели, что потребует от обучающихся критического осмысления и формирования новых гипотез. Многократное повторение опытов с объектом, созданным самостоятельно, приведет не только к осмыслению фундаментальных теоретических понятий, но и к развитию исследовательских умений.

12. Создание индивидуальных творческих проектов. Этапы работы:

- 1) Выбор проекта. Сбор информации по темам проектов.
- 2) Изготовление деталей проекта на 3D-принтере.
- 3) Сборка конструкций для индивидуальных творческих проектов.
- 4) Подготовка документации по индивидуальным творческим проектам.
- 5) Защита индивидуальных творческих проектов.

13. Подведение итогов работы по модулю.

Представим варианты индивидуальных творческих проектов различной направленности в соответствии со спецификой работы студий.

1. Создание 3D-персонажа для компьютерной игры – виртуальный аватар ЦаЦа (игровая модель «женский фэнтези-персонаж»).

2. Проект «Эмблема к Дню Победы».

Все готовые проекты заранее высылались по электронной почте на оценку. При отсутствии оборудования отдельно проект высылался в Центр для печати созданного продукта.

Описание опытно-экспериментальной работы

Основная цель опытно-экспериментальной работы (далее – ОЭР) заключалась в проверке эффективности развития исследовательских умений обучающихся посредством внедрения в систему занятий дополнительного образования технологии 3D-моделирования для реализации креативных междисциплинарных проектов.

Возможные внешние переменные, которые могли оказать существенное влияние на достоверность и надежность эксперимента: материально-техническая база; мотивация и настроение испытуемых; согласие родителей; опыт и квалификация педагога; продолжительность и время занятий.

Чтобы учесть внешние переменные Центра при проведении эксперимента, были реализованы следующие меры для противодействия их влиянию на эксперимент:

- получено согласие всех школьников, их родителей и законных представителей на участие в эксперименте. Отметим, что все обучающиеся студий имеют высокую мотивацию на достижение успеха как в академической деятельности, так и в будущей профессии. Как следствие, они активно участвовали в разработке проектов и на занятии, и в рамках подготовки к олимпиадам, конкурсам, фестивалям;
- выполнено планирование модуля «Креативное моделирование». Длительность занятий и время по расписанию не изменялись;
- осуществлялся строгий контроль условий и фиксации для всего процесса 3D-моделирования;
- занятия по моделированию и прототипированию проводились в студиях по расписанию – 2 занятия в неделю (по 40 минут);
- занятия проводились в одних и тех же аудиториях Центра. Средства моделирования и критерии оценки междисциплинарных проектов не изменялись.

Все оборудованные кабинеты, библиотека, столовая доступны для детей-инвалидов и детей с ограниченными возможностями здоровья. В Центре имеется медицинский кабинет, комната релаксации и психологической разгрузки в рамках проекта «Доступная среда».

На первом этапе исследования произведен анализ научно-педагогической и учебно-методической литературы по теме исследования. Определены методологические и теоретические основы исследования.

Выявлены роль и перспективы применения 3D-моделирования для развития исследовательских умений, обоснована актуальность исследования, сформулированы цель и задачи. В процесс обучения внедрены отдельные составляющие разработанного модуля для рабочих программ студий.

Произведены систематизация, отбор и настройка программного и аппаратного обеспечения. Выполнен обзор вариантов использования 3D-моделирования в образовательных целях.

Также авторами разработана система заданий и моделей-образцов для реализации междисциплинарных проектов, сформирован комплект методических материалов для участников студий.

В педагогическом эксперименте задействовано 48 участников студий блогинга и видеотворчества («Перспектива»). Средний возраст респондентов – 13 лет (45% девушек и 55% молодых людей).

Как отмечалось выше, оценка исследовательских умений включала оценку результатов исследовательской деятельности школьников – выполненных креативных проектов по моделированию.

Все задания и критерии оценивания разрабатывались авторами по примерам заданий прошлых всероссийских и международных олимпиад, касающихся непосредственно технического 3D-моделирования и печати.

Пример общей формулировки задания: по предложенному образцу разработайте технический рисунок изделия, создайте модель изделия, подготовьте проект для печати, выполните чертежи изделия, например изделия «Качели-балансир». Были определены требования по габаритным размерам изделия:

- модель качелей функциональна (подвижна), состоит не менее чем из трех типов деталей (основание, балка, кресла должны быть отражены на модели-образце), прочая детализация – на усмотрение школьника;
- модель собирается из деталей в целое изделие с помощью любых спроектированных школьником соединений; крепление кресел к балке прочное (кресла – отдельные детали, не единое целое с балкой); соединение балки с основанием подвижное;
- размер поперечного сечения балки;
- кресла должны быть со спинками произвольной формы, размер спинки не меньше сидения;
- основание должно быть украшено по бокам несложной декоративной накладкой (например, как на модели-образце);
- конструкцию кресел и конструкцию основания следует разработать самостоятельно, с учетом описанных выше требований. Не обязательно с использованием трубок.

Определены показатели сформированности исследовательских умений школьников: проведение наблюдений и исследований при моделировании; выдвижение гипотезы; планирование исследовательской деятельности; анализ информационных источников.

Далее определялись непосредственно уровни сформированности исследовательских умений школьников.

Начальный (репродуктивный) – школьник умеет ставить цель, задачи, проблему исследования лишь под руководством педагога. Ученик может при постоянной поддержке наставника определять структуру и составлять простой план своего исследования. Обучающийся испытывает основательные затруднения при самостоятельном отборе и интерпретации необходимой информации в соответствии со структурой работы, при формулировании результатов исследования, их обосновании и презентации.

Основной (частично-поисковый) – школьник умеет частично самостоятельно ставить цель, задачи, проблему исследования. При определении структуры и плана своего исследования иногда обращается за помощью к наставнику. Испытывает незначительные затруднения при отборе и интерпретации необходимой информации в соответствии со структурой работы, при формулировании результатов исследования, их обосновании и презентации.

Высокий (исследовательский) – школьник разбирается в содержании усваиваемого действия: в свойствах предмета, в результате-образце, в составе и порядке операций исследования. Он проявляет обоснованную самостоятельность и редко ошибается на этапах планирования, реализации собственного плана исследовательской деятельности.

По материалам оценивания были сформированы контрольная (24 школьника) и экспериментальная (24 школьника) группы.

На втором этапе организована работа студий Центра по разработанным материалам, включающая:

- 1) знакомство участников студий с технологией 3D-моделирования (или необходимое дополнение, если в школе они параллельно изучают предмет «Технология»);
- 2) реализация креативных междисциплинарных проектов с целью развития исследовательских умений обучающихся.

В рамках модуля участники экспериментальной группы познакомились с основами 3D-моделирования. Они учились работать в 3D-программах, создавать модели и печатать их на 3D-принтере. Эти современные навыки пригодятся им в дальнейшем при обучении в технических вузах, а также при участии в различных конкурсах, в том числе в конкурсах профессионального мастерства. В связи с возрастом испытуемых особое внимание уделялось соблюдению этических норм исследования.

Педагог по моделированию и прототипированию информировал и школьников, и их родителей об этапах работы и возможных конкурсах, фестивалях для участия. Например, он отвечал на все возникающие вопросы, решал организационные трудности. Соблюдались все правила информационной безопасности и санитарно-гигиенические требования. Например, эскиз выполнялся согласно стандарту Единой системы конструкторской документации на бумажном листе.

На третьем этапе осуществлены анализ, систематизация и обработка результатов эксперимента, сформулированы и уточнены выводы, оформлены материалы представленного исследования.

Результаты применения школьниками экспериментальной группы навыков 3D-моделирования в практике Центра прототипирования – «Центра креативных индустрий»: модель коридора театра кукол с дополнительной объемной декорировкой, объемное исполнение фотозоны на территории Дома-музея В. А. Русанова. На занятиях студий школьники научились создавать авторские эскизы и воплощать их в жизнь с учетом особенностей помещения и целевой аудитории, научились работать с материалами разной текстуры, взаимодействовать в команде, помогать друг другу и выполнять важную культурно-общественную миссию.

Участники контрольной группы также изучали основы креативного моделирования. Но к оформлению моделей в 3D-графике и к 3D-печати для активизации исследовательской деятельности они целенаправленно не привлекались.

Пример творческого проекта – изготовление из картона летающей модели самолета «Стрела». Цель проекта – приобщение к техническому творчеству и самостоятельной работе.

В процессе изготовления модели «Стрела» происходит:

1. Знакомство с конструкцией летательных аппаратов.
2. Приобретение спортивно-соревновательных навыков и исследовательских умений.

3. Подготовка к работе над более сложными моделями.

Логика креативного моделирования:

- 1) изготовить чертеж модели;
- 2) продавить линии сгиба на чертеже при помощи линейки и металлического продавливателя, чтобы бумага легче сгибалась;
- 3) вырезать модель;
- 4) склеить полученные детали (фюзеляж самолета, кабина, хвост);
- 5) оформить модель;

- 6) изготовить катапульту (из бруска древесины, при помощи тисков и лобзика);
- 7) испытать модель в рамках мини-соревнований.

Сведения о результатах оценивания «до» и «после» опытно-поисковой работы по применению 3D-моделирования для развития исследовательских умений школьников в условиях дополнительного образования представлены в таблице.

Влияние работы с 3D-моделями на уровень развития исследовательских умений школьников в условиях дополнительного образования

Уровень	Группы			
	Экспериментальная (24 школьника)		Контрольная (24 школьника)	
	До ОЭР	После ОЭР	До ОЭР	После ОЭР
Начальный (репродуктивный)	12	4	12	11
Основной (частично-поисковый)	10	8	9	10
Высокий (исследовательский)	2	12	3	3

Итак, $\chi^2_{\text{набл.1}} < \chi^2_{\text{крит}}$ ($0.253 < 5.991$), и $\chi^2_{\text{набл.2}} > \chi^2_{\text{крит}}$ ($8.730 > 5.991$). Следовательно, сдвиг в сторону повышения уровня исследовательских умений школьников в условиях дополнительного образования в экспериментальной группе можно считать неслучайным. Значимые положительные изменения в педагогической системе позволяют признать гипотезу подтвержденной, а задачи исследования – решенными.

Это можно интерпретировать как педагогический эффект от внедрения модели подходов к использованию 3D-моделирования для развития исследовательских умений в рамках дополнительного образования.

Лучшие результаты в экспериментальной группе обусловлены потенциалом разработанного плана модуля «Креативное моделирование» (системы заданий и моделей-образцов), ориентированного на развитие исследовательских умений школьников посредством внедрения аддитивных технологий в образовательный процесс.

Участники эксперимента отмечали, что главная сложность при работе с 3D-ручкой – в создании качественной поверхности изделий. Кроме того, в работах необходимо было соблюдать баланс композиции, что оказалось тоже непростой задачей для участников. Некоторые работы были перегружены элементами.

Еще один момент, которому особенно уделяли внимание, это создание движущихся элементов. Школьникам необходимо было очень грамотно продумать способы крепления деталей друг к другу.

В ходе работы над креативным проектом школьники не только обрели новые навыки, но и научились слаженно работать в команде.

Заключение / Conclusion

В представленном исследовании конкретизировано понятие исследовательских умений посредством выявления его сущности и содержания. Участники студий ЦКИ ФГБОУ ВО «ОГИК» отметили следующие возможности использования 3D-моделирования в дополнительном образовании для подготовки к жизни в обществе Индустрии 4.0:

- получение опыта 3D-моделирования и печати;

- поддержка обучения (межпредметность) в соответствии с вызовами цифрового общества и навыками XXI века;
- создание учебных моделей, отражающих реальные практические прикладные задачи междисциплинарного характера;
- создание вспомогательных технологий (для обучения детей с ограниченными возможностями);
- поддержка информационно-просветительской деятельности в плане подготовки к востребованным профессиям общества.

В представленном исследовании дорабатываются идеи Е. А. Михляковой, Т. Н. Суворовой относительно реализации 3D-моделирования для обучения школьников [38], в частности для демонстрации трехмерного объекта.

Полученные выводы дополняют в научно-методологическом плане работы О. Н. Васильевой, Н. В. Коноваловой [39] и Т. В. Машаровой, М. С. Перевозчиковой, Н. А. Бушмелевой, И. Ю. Хлобыстовой [40], так как опираются на конкретное тематическое планирование и соответствующие системы заданий, принципы построения междисциплинарных проектов.

Авторы постарались учесть и адаптировать результаты Ч.-Ю. Хуан, Дж. Ванг об опыте формирования у детей представлений и умений, связанных с 3D-проектированием (моделированием) и 3D-печатью, непосредственно к системе дополнительного образования в России [41].

Таким образом, полученные в ходе обсуждения выводы позволяют создавать наставникам Центра условия, максимально способствующие подготовке выпускников, ориентированных на достижение тех глобальных образовательных и научных перспектив, которые наметил К. Шваб в описании передовых технологий Индустрии 4.0 [42].

Авторами определены возможности 3D-моделирования и прототипирования для развития исследовательских умений школьников в системе дополнительного образования:

- выдвижение гипотезы естественно-научного характера и осуществление ее проверки экспериментальным путем;
- овладение методикой самостоятельного планирования и проведения эксперимента с соблюдением правил техники безопасности;
- обобщение научной информации;
- оценка и анализ полученных результатов моделирования в ходе экспериментальной работы, проверка их на достоверность.

Несмотря на очевидный развивающий потенциал 3D-технологий, следует отметить и ряд трудностей, которые возникают при внедрении 3D-моделирования:

- далеко не все учреждения дополнительного образования в мире имеют финансовую поддержку и возможность приобрести новое оборудование для использования в учебном процессе;
- проблема подготовки наставников к использованию аддитивной технологии;
- организация доступа участников дидактического процесса к оборудованию для работы с ним.

Практические положения могут явиться основой для разработки дидактических средств обучения: сборников заданий, методических указаний. Дальнейшее исследование может быть нацелено на распространение предлагаемых подходов к развитию исследовательских умений обучающихся на других уровнях образования (основная школа, высшее образование) и дополнительное образование (кванториумы, точки роста, центры технического творчества и т. д.).

Ссылки на источники / References

1. Development Alternatives. Доклад Римского клуба. – URL: <https://www.devalt.org/>
2. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution // World Economic Forum. – 2016. – P. 172. DOI: 10.18800/economia.201801.012.
3. Крушанов А. А. Искусственный интеллект – освобождение человека от трудностей или его вытеснение? // Вопросы философии. – 2022. – № 11. – С. 87–98. DOI: 10.21146/0042-8744-2022-11-87-98.
4. Soboleva E. V., Karavaev N. L. Characteristics of the Project-Based Teamwork in the Case of Developing a Smart Application in a Digital Educational Environment // European Journal of Contemporary Education. – 2020. – Vol. 9. – No. 2. – P. 417–433. DOI: 10.13187/ejced.2020.2.417.
5. Additive Manufacturing UK National Strategy 2018-25. – URL: <http://amuk.org/project/additive-manufacturing-uk-national-strategy-2018-25/>
6. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919>
7. Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2021 N 2613-р «Об утверждении Концепции развития творческих (креативных) индустрий и механизмов осуществления их государственной поддержки в крупных и крупнейших городских агломерациях до 2030 года». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_396332/?ysclid=lobgyxvdhs318855661
8. Дик Ю. И. Проблемы и основные направления развития школьного физического образования в Российской Федерации: дис. ... д-ра пед. наук в форме научного доклада. – М., 1996. – 59 с.
9. Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 года (с изменениями на 15 мая 2023 года). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/350163313>
10. Fombona P. A., Fombona J., Vicente R. Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures // Journal of Chemical Information and Modeling. – 2022. – P. 62. DOI: 10.1021/acs.jcim.1c01255.
11. Marić J., Opazo-Basáez M., Vlačić B., Dabic M. Innovation management of three-dimensional printing (3DP) technology: Disclosing insights from existing literature and determining future research streams // Technological Forecasting and Social Change. – 2023. – Vol. 193. – P. 122605. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122605.
12. Фаритов А. Т. 3D-моделирование и прототипирование во внеурочной деятельности учащихся в школе // Педагогика и просвещение. – 2019. – № 4. – С. 155–167. DOI: 10.7256/2454-0676.2019.4.31700.
13. Малова Е. Н., Шубович В. Г., Шубович М. М. Здоровьесберегающий аспект использования информационно-коммуникационных технологий в дополнительном образовании младших школьников // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 12. – С. 70–72.
14. Savolainen J., Collan M. Additive manufacturing technology and business model change – a review of literature // Additive Manufacturing. – 2020. – Vol. 32. – P. 101070. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101070.
15. Гордеев Е. Г., Анаников В. П. Общедоступные технологии 3D-печати в химии, биохимии и фармацевтике: приложения, материалы, перспективы // Успехи химии. – 2020. – Т. 89. – № 12. – С. 1507–1561.
16. Gibson I., Rosen D., Stucker B., Khorasani M. Development of Additive Manufacturing Technology // Additive Manufacturing Technologies. – Springer, Cham, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-56127-7_2
17. Marić J., Opazo-Basáez M., Vlačić B., Dabic M. Innovation management of three-dimensional printing (3DP) technology: Disclosing insights from existing literature and determining future research streams.
18. Bauer E., Heitzmann N., Fischer F. Simulation-based learning in higher education and professional training: Approximations of practice through representational scaffolding // Studies In Educational Evaluation. – 2022. – Vol. 75. DOI: 10.1016/j.stueduc.2022.101213.
19. Ерошкина И. В. Структура исследовательской деятельности учащихся основной школы в современном развивающем образовании // Педагогическое образование в России. – 2012. – № 3. – С. 128–134.
20. Андреев В. И. Эвристическое программирование учебно-исследовательской деятельности (в обучении естественным предметам): дис. ... д-ра пед. наук. – Казань: Казанский гос. пед. ин-т, 1983. – 452 с.
21. Столбова И. Д., Кочурова Л. В., Носов К. Г. К вопросу о цифровой трансформации предметного обучения // Информатика и образование. – 2020. – № 9(318). – С. 53–63. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-9-53-63.
22. Корнилов Ю. В., Иванов И. А. Обучение компьютерной графике в дополнительном образовании на основе технологии перевернутого обучения // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2019. – Т. 8. – № 4(29). – С. 111–114. DOI: 10.26140/anip-2019-0804-0095.
23. Huang T.-Ch., Chen M.-Y., Lin Ch.-Y. Exploring the behavioral patterns transformation of learners in different 3D modeling teaching strategies // Computers in Human Behavior. – 2019. – Vol. 92. – P. 670–678. DOI: 10.1016/j.chb.2017.08.028
24. Huang Ch.-Y., Wang J. Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course // Computers & Education. – 2022. – Vol. 187. – P. 104553. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104553.

25. Cheng L., Antonenko P. P., Ritzhaupt A. et al. Exploring the influence of teachers' beliefs and 3D printing integrated STEM instruction on students' STEM motivation // *Computers & Education*. – 2020. – P. 103983. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103983.
26. Anđić B., Ulbrich E., Dana-Picard T. et al. A Phenomenography Study of STEM Teachers' Conceptions of Using Three-Dimensional Modeling and Printing (3DMP) in Teaching // *Journal of Science Education and Technology*. – 2022. – Vol. 32. – P. 1–16. DOI: 10.1007/s10956-022-10005-0.
27. Pearson H., Dube A. 3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice // *Education and Information Technologies*. – 2022. – P. 27. DOI: 10.1007/s10639-021-10733-7.
28. Гордеев Е. Г., Анаников В. П. Общедоступные технологии 3D-печати в химии, биохимии и фармацевтике: приложения, материалы, перспективы // *Успехи химии*. – 2020. – Т. 89. – № 12. – С. 1507–1561. DOI: 10.1070/RCR4980.
29. Фаритов А. Т. 3D-моделирование и прототипирование во внеурочной деятельности учащихся в школе.
30. Суворова Т. Н., Михлякова Е. А. Применение технологий 3D-моделирования для персонализации обучения // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2020. – № 5 (май). – С. 110–129. – URL: <http://e-koncept.ru/2020/201038.htm>. DOI: 10.24411/2304-120X-2020-11038
31. Петров Е. Е. Зарубежный опыт обучения биологии с применением технологий 3D-моделирования и виртуальной реальности // *Образование. Наука. Научные кадры*. – 2023. – № 2. – С. 233–238. DOI: 10.56539/20733305_2023_2_233.
32. Васильева О. Н., Коновалова Н. В. Инженерные классы как инструмент профессиональной навигации // *Высшее образование в России*. – 2018. – Т. 27. – № 12. – С. 136–143. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-12-136-143.
33. Использование 3D-технологий для развития инновационного мышления / Т. В. Машарова, М. С. Перевозчикова, Н. А. Бушмелева, И. Ю. Хлобыстова // *Перспективы науки и образования*. – 2020. – № 3(45). – С. 426–440. DOI: 10.32744/pse.2020.3.31.
34. Андреев В. И. Эвристическое программирование учебно-исследовательской деятельности (в обучении естественным предметам): дис. ... д-ра пед. наук.
35. Литовченко В. Н. Формирование исследовательских умений студентов педагогических специальностей университета средствами НИР: специальность 13.00.01 «Общая педагогика, история педагогики и образования»: дис. ... канд. пед. наук. – Минск, 1990. – 197 с.
36. Романов П. Ю. Формирование исследовательских умений обучающихся в системе непрерывного педагогического образования: специальность 13.00.08 «Теория и методика профессионального образования»: дис. ... д-ра пед. наук. – Магнитогорск, 2003. – 385 с.
37. Андреев В. И. Эвристическое программирование учебно-исследовательской деятельности (в обучении естественным предметам): дис. ... д-ра пед. наук.
38. Суворова Т. Н., Михлякова Е. А. Применение технологий 3D-моделирования для персонализации обучения.
39. Васильева О. Н., Коновалова Н. В. Инженерные классы как инструмент профессиональной навигации.
40. Использование 3D-технологий для развития инновационного мышления / Т. В. Машарова, М. С. Перевозчикова, Н. А. Бушмелева, И. Ю. Хлобыстова.
41. Huang Ch.-Y., Wang J. Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course.
42. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution.

1. *Development Alternatives. Doklad Rimskogo kluba [Report of the Club of Rome]*. Available at: <https://www.devalt.org/> (in English).
2. Schwab, K. (2016). "The Fourth Industrial Revolution", *World Economic Forum*, p. 172. DOI: 10.18800/economia.201801.012 (in English).
3. Krushanov, A. A. (2022). "Iskusstvennyj intellekt – osvobozhdenie cheloveka ot trudnostej ili ego vytesnenie?" [Artificial intelligence – freeing people from difficulties or displacing them?], *Voprosy filosofii*, № 11, pp. 87–98. DOI: 10.21146/0042-8744-2022-11-87-98 (in Russian).
4. Soboleva, E. V., & Karavaev, N. L. (2020). "Characteristics of the Project-Based Teamwork in the Case of Developing a Smart Application in a Digital Educational Environment", *European Journal of Contemporary Education*, vol. 9, No. 2, pp. 417–433. DOI: 10.13187/ejced.2020.2.417 (in English).
5. *Additive Manufacturing UK National Strategy 2018-25*. Available at: <http://amuk.org/project/additive-manufacturing-uk-national-strategy-2018-25/> (in English).
6. *Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 09.05.2017 g. № 203 "O Strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017–2030 gody" [Decree of the President of the Russian Federation dated 05/9/2017 No. 203 "On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017-2030"]*. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41919> (in Russian).

7. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 20.09.2021 № 2613-r "Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya tvorcheskikh (kreativnykh) industrii i mekhanizmov osushchestvleniya ih gosudarstvennoj podderzhki v krupnykh i krupnejshih gorodskih aglomeratsiyah do 2030 goda"* [Decree of the Government of the Russian Federation dated 09/20/2021 No. 2613-p "On approval of the Concept of development of creative industries and mechanisms for their state support in large urban agglomerations until 2030"]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_396332/?ysclid=lobgyxvdhs318855661 (in Russian).
8. Dik, Yu. I. (1996). *Problemy i osnovnye napravleniya razvitiya shkol'nogo fizicheskogo obrazovaniya v Rossijskoj Federacii* [Problems and main directions of school physical education development in the Russian Federation]: dis. ... d-ra ped. nauk v forme nauchnogo doklada, Moscow, 59 p. (in Russian).
9. *Konceptiya razvitiya dopolnitel'nogo obrazovaniya detej do 2030 goda (s izmeneniyami na 15 maya 2023 goda)* [The concept of the development of additional education for children until 2030 (as amended on May 15, 2023)]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/350163313> (in Russian).
10. Fombona, P. A., Fombona, J., & Vicente, R. (2022). "Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures", *Journal of Chemical Information and Modeling*, p. 62. DOI: 10.1021/acs.jcim.1c01255 (in English).
11. Marić, J., Opazo-Basáez, M., Vlačić, B., & Dabic, M. (2023). "Innovation management of three-dimensional printing (3DP) technology: Disclosing insights from existing literature and determining future research streams", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 193, p. 122605. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.122605 (in English).
12. Faritov, A. T. (2019). "3D-modelirovanie i prototipirovanie vo vneurochnoj deyatel'nosti uchashchihsya v shkole" [3D modeling and prototyping in extracurricular activities of students at school], *Pedagogika i prosveshchenie*, № 4, pp. 155–167. DOI: 10.7256/2454-0676.2019.4.31700 (in Russian).
13. Malova, E. N., Shubovich, V. G., & Shubovich, M. M. (2019). "Zdorov'esberegayushchij aspekt ispol'zovaniya informacionno-kommunikacionnykh tekhnologij v dopolnitel'nom obrazovanii mladshih shkol'nikov" [The health-saving aspect of the use of information and communication technologies in the additional education of primary school students], *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, № 12, pp. 70–72 (in Russian).
14. Savolainen, J., & Collan, M. (2020). "Additive manufacturing technology and business model change – a review of literature", *Additive Manufacturing*, vol. 32, p. 101070. DOI: 10.1016/j.addma.2020.101070 (in English).
15. Gordeev, E. G., & Ananikov, V. P. (2020). "Obshchedostupnye tekhnologii 3D-pechati v himii, biohimii i farmatsevtike: prilozheniya, materialy, perspektivy" [Publicly available 3D printing technologies in chemistry, biochemistry and pharmaceuticals: applications, materials, prospects], *Uspekhi himii*, t. 89, № 12, pp. 1507–1561 (in Russian).
16. Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M. (2021). "Development of Additive Manufacturing Technology", *Additive Manufacturing Technologies*, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-56127-7_2 (in English).
17. Marić, J., Opazo-Basáez, M., Vlačić, B., & Dabic, M. (2023). Op. cit.
18. Bauer, E., Heitzmann, N., & Fischer, F. (2022). "Simulation-based learning in higher education and professional training: Approximations of practice through representational scaffolding", *Studies In Educational Evaluation*, vol. 75. DOI: 10.1016/j.stueduc.2022.101213 (in English).
19. Eroshkina, I. V. (2012). "Struktura issledovatel'skoj deyatel'nosti uchashchihsya osnovnoj shkoly v sovremennom razvivayushchem obrazovanii" [The structure of research activities of primary school students in modern developmental education], *Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii*, № 3, pp. 128–134 (in Russian).
20. Andreev, V. I. (1983). *Evristicheskoe programmirovaniye uchebno-issledovatel'skoj deyatel'nosti (v obuchenii estestvennykh predmetam)* [Heuristic programming of educational and research activities (in teaching natural subjects)]: dis. ... d-ra ped. nauk, Kazanskij gos. ped. in-t, Kazan', 452 p. (in Russian).
21. Stolbova, I. D., Kochurova, L. V., & Nosov, K. G. (2020). "K voprosu o cifrovoj transformacii predmetnogo obucheniya" [On the issue of the digital transformation of subject learning], *Informatika i obrazovanie*, № 9(318), pp. 53–63. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-9-53-63 (in Russian).
22. Kornilov, Yu. V., & Ivanov, I. A. (2019). "Obuchenie komp'yuternoj grafike v dopolnitel'nom obrazovanii na osnove tekhnologii perevernutogo obucheniya" [Computer graphics training in additional education based on "flipped class" technology], *Azimut nauchnykh issledovanij: pedagogika i psihologiya*, t. 8, № 4(29), pp. 111–114. DOI: 10.26140/anip-2019-0804-0095 (in Russian).
23. Huang, T.-Ch., Chen, M.-Y., & Lin, Ch.-Y. (2019). "Exploring the behavioral patterns transformation of learners in different 3D modeling teaching strategies", *Computers in Human Behavior*, vol. 92, pp. 670–678. DOI: 10.1016/j.chb.2017.08.028 (in English).
24. Huang, Ch.-Y., & Wang, J. (2022). "Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course", *Computers & Education*, vol. 187, p. 104553. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104553 (in English).
25. Cheng, L., Antonenko, P. P., Ritzhaupt, A. et al. (2020). "Exploring the influence of teachers' beliefs and 3D printing integrated STEM instruction on students' STEM motivation", *Computers & Education*, p. 103983. DOI: 10.1016/j.compedu.2020.103983 (in English).

26. Anđić, B., Ulbrich, E., Dana-Picard, T. et al. (2022). "A Phenomenography Study of STEM Teachers' Conceptions of Using Three-Dimensional Modeling and Printing (3DMP) in Teaching", *Journal of Science Education and Technology*, vol. 32, pp. 1–16. DOI: 10.1007/s10956-022-10005-0 (in English).
27. Pearson, H., & Dube, A. (2022). "3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice", *Education and Information Technologies*, p. 27. DOI: 10.1007/s10639-021-10733-7 (in English).
28. Gordeev, E. G., & Ananikov, V. P. (2020). "Obshchedostupnye tekhnologii 3D-pechati v himii, biohimii i farmaceutike: prilozheniya, materialy, perspektivy" [Publicly available 3D printing technologies in chemistry, biochemistry and pharmaceuticals: applications, materials, prospects], *Uspekhi himii*, t. 89, № 12, pp. 1507–1561. DOI: 10.1070/RCR4980 (in Russian).
29. Faritov, A. T. (2019). Op. cit.
30. Suvorova, T. N., & Mihlyakova, E. A. (2020). "Primenenie tekhnologii 3D-modelirovaniya dlya personalizatsii obucheniya" [The use of 3D modeling technologies for personally-oriented learning], *Nauchno-metodicheskij elektronnyy zhurnal "Koncept"*, № 5 (maj), pp. 110–129. Available at: <http://e-koncept.ru/2020/201038.htm>. DOI: 10.24411/2304-120X-2020-11038 (in Russian).
31. Petrov, E. E. (2023). "Zarubezhnyy opyt obucheniya biologii s primeneniem tekhnologii 3D-modelirovaniya i virtual'noj real'nosti" [Foreign experience in teaching biology using 3D modeling and virtual reality technologies], *Obrazovanie. Nauka. Nauchnye kadry*, № 2, pp. 233–238. DOI: 10.56539/20733305_2023_2_233 (in Russian).
32. Vasil'eva, O. N., & Konovalova, N. V. (2018). "Inzhenernye klassy kak instrument professional'noj navigatsii" [Engineering classes as a tool for professional navigation], *Vysshee obrazovanie v Rossii*, t. 27, № 12, pp. 136–143. DOI: 10.31992/0869-3617-2018-27-12-136-143 (in Russian).
33. Masharova, T. V., Perevozchikova, M. S., Bushmeleva, N. A. & Hlobystova, I. Yu. (2020). "Ispol'zovanie 3D-tekhnologii dlya razvitiya innovatsionnogo myshleniya" [Using 3D technologies to develop innovative thinking], *Perspektivy nauki i obrazovaniya*, № 3(45), pp. 426–440. DOI: 10.32744/pse.2020.3.31 (in Russian).
34. Andreev, V. I. (1983). Op. cit.
35. Litovchenko, V. N. (1990). *Formirovanie issledovatel'skih umenij studentov pedagogicheskikh special'nostej universiteta sredstvami NIR* [Building up research skills of university students of pedagogical specialties by means of research]: special'nost' 13.00.01 "Obshchaya pedagogika, istoriya pedagogiki i obrazovaniya": dis. ... kand. ped. nauk, Minsk, 197 p. (in Russian).
36. Romanov, P. Yu. *Formirovanie issledovatel'skih umenij obuchayushchihsya v sisteme nepreryvnogo pedagogicheskogo obrazovaniya* [Building up students' research skills in the system of continuing pedagogical education]: special'nost' 13.00.08 "Teoriya i metodika professional'nogo obrazovaniya": dis. ... d-ra ped. nauk, Magnitogorsk, 2003, 385 p. (in Russian).
37. Andreev, V. I. (1983). Op. cit.
38. Suvorova, T. N., & Mihlyakova, E. A. (2020). Op. cit.
39. Vasil'eva, O. N., & Konovalova, N. V. (2018). Op. cit.
40. Andreev, V. I. (1983). Op. cit.
41. Huang, Ch.-Y., & Wang, J. (2022). Op. cit.
42. Schwab, K. (2016). Op. cit.

Вклад авторов

В. В. Матвеев – организация работы секций и кружков в рамках оказания услуг дополнительного образования, курирование работы секций, сбор информации о применяемых 3D-технологиях в ОГИК. При работе над текстом статьи – анализ зарубежных источников, базы данных Scopus и Wos. На заключительном этапе – помощь в формулировании выводов по исследованию.

Д. Н. Грибков – анализ российской и зарубежной литературы по проблематике исследования, описание методологии и базы практики, сбор экспериментальных данных, оформление аналитических материалов соавторов согласно структуре статьи, выполнение статистической обработки результатов.

Contribution of the authors

V. V. Matveev – organization of the work of sections and circles within the framework of the provision of additional education services, supervision of the work of sections, collection of information about the applied 3D technologies in the OSIC, analysis of foreign sources, the Scopus and Wos databases. At the final stage – assistance in formulating conclusions on the study.

D. N. Gribkov – analysis of Russian and foreign literature on research issues, description of methodology and practice base, collection of experimental data, preparation of analytical materials of co-authors according to the structure of the article, statistical processing of the results.