

УДК 004.89, 37.022
DOI: 10.25559/SITITO.16.202001.50-63

Аспекты использования технологий прототипирования и искусственного интеллекта в рамках цифровой трансформации образовательного процесса

О. В. Дружинина^{1,2}, Е. В. Игонина³, О. Н. Масина^{3*}, А. А. Петров³

¹ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия 119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2

² Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, Россия 117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

³ Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия 399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28-1

* olga121@inbox.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы применения аддитивных технологий и искусственного интеллекта в образовательном и исследовательском процессах учебных заведений. Охарактеризованы особенности аддитивных технологий, используемых для прототипирования 3D-объектов. Представлены результаты и описаны перспективы использования аддитивных технологий в образовательном процессе, связанном с преподаванием дисциплин математического профиля. Предложены варианты использования аддитивных технологий при решении задач моделирования систем с интеллектуальными и когнитивными компонентами. Изучены возможности создания автоматизированных интеллектуальных систем обучения на основе искусственного интеллекта. Проанализированы возможности аддитивных технологий как инструмента повышения эффективности обучения математике в рамках цифровой трансформации образовательного процесса. Аддитивные технологии в процессе обучения математике рассмотрены как звено структуры гибридной интеллектуальной обучающей среды в триаде «педагог – компьютер – обучающийся».

Ключевые слова: гибридная интеллектуальная обучающая среда, математическое образование, аддитивные технологии, 3D-прототипирование, искусственный интеллект, когнитивное программирование, инновации в образовании.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-29-14009 «Организация гибридной интеллектуальной обучающей среды в условиях цифровизации общего образования (на примере математики)».

Для цитирования: Дружинина, О. В. Аспекты использования технологий прототипирования и искусственного интеллекта в рамках цифровой трансформации образовательного процесса / О. В. Дружинина, Е. В. Игонина, О. Н. Масина, А. А. Петров. – DOI 10.25559/SITITO.16.202001.50-63 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Том 16, № 1. – С. 50-63.

© Дружинина О. В., Игонина Е. В., Масина О. Н., Петров А. А., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Aspects of Prototyping Technologies and Artificial Intelligence Use in the Framework of the Digital Transformation of the Educational Process

O. V. Druzhinina^{a,b}, E. V. Igonina^c, O. N. Masina^c, A. A. Petrov^c

¹ Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

44-2 Vavilov St., Moscow 119333, Russia

² V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

65 Profsoyuznaya St., Moscow 117997, Russia

³ Bunin Yelets State University, Yelets, Russia

28-1 Kommunarov St., Yelets 399770, Russia

* olga121@inbox.ru

Abstract

The paper is devoted to the problems of the additive technologies application and artificial intelligence in the educational and research processes of educational institutions. We characterized the features of additive technologies used for prototyping 3D objects. The results are presented and prospects for additive technologies use in the educational process associated with the mathematical profile teaching disciplines are described. We proposed the variants of additive technologies use for problems solving of modeling for systems with intellectual and cognitive components. The possibilities of creating automated intellectual learning systems based on artificial intelligence are studied. The possibilities of additive technologies as the tool to increase the effectiveness of mathematics teaching in the framework of education digitalization are analyzed. Additive technologies in the process of mathematics teaching are considered as the structure chain of a hybrid intellectual learning environment in the triad "teacher – computer – student".

Keywords: hybrid intellectual learning environment, mathematical education, additive technologies, 3D-prototyping, artificial intelligence, cognitive programming, innovations in education.

Funding: The reported study was funded by RFBR, project number 19-29-14009.

For citation: Druzhinina O.V., Igonina E.V., Masina O.N., Petrov A.A. Aspects of Prototyping Technologies and Artificial Intelligence Use in the Framework of the Digital Transformation of the Educational Process. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(1):50-63. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202001.50-63>



Введение

Анализ современных целей и состояния общего образования, условий достижения новых образовательных результатов показывает, что одной из наиболее важных характеристик развития системы общего образования является изучение процесса внедрения инновационных цифровых технологий в образование. Сегодня эти требования особенно актуальны, поскольку сфера человеческой деятельности в технологическом плане в настоящее время очень быстро меняется. На смену существующим технологиям быстро приходят новые, специалистам приходится их заново осваивать, и в этих условиях, несомненно, велика роль инженерно-технического, информационного и математического образования, обеспечивающего профессиональную мобильность человека, готовность его к применению новых технологий. В связи с этим современную актуальность приобретает изучение аддитивных технологий (АТ) и их включение в образовательные программы учебных заведений, разработка технологий управления интеллектуальными устройствами, а также разработка автоматизированных интеллектуальных систем обучения (АИСО), позволяющих адаптировать учебный процесс к индивидуальным особенностям обучающихся.

Внедрение современных цифровых технологий в образовательный процесс приведет к изменению стандартов, программ и подходов к обучению, но с другой стороны, с развитием инновационных технологий исследовательская деятельность получит дополнительные инструменты, позволяющие с разных точек зрения изучать процессы и явления с учетом знаний обучающегося, предметных особенностей изучаемой дисциплины, психологических особенностей обучающегося. В современных психолого-педагогических исследованиях обучение рассматривается как интеллектуальный процесс, позволяющий проектировать и реализовывать индивидуальные образовательные маршруты в зависимости от уровня предметной подготовки и индивидуально-психологических особенностей обучающихся в условиях гибридной обучающей среды [1, 2].

Ряд актуальных задач возникает при создании гибридной обучающей среды в предметной области, связанной с преподаванием математики в средней школе. Исследования по цифровой трансформации математического образования являются важным направлением педагогической науки в современном цифровом обществе, использующем достижения искусственного интеллекта [3]. Цифровые математические образовательные платформы должны в перспективе предоставить инструменты для эффективной работы ученика, усовершенствовать средства организации среднего образования, оптимизировать учебное время. В частности, одним из инструментов повышения эффективности обучения математике в средней школе является применение АТ при обучении математике в системе общего образования.

В исследованиях по цифровой трансформации математического образования используются результаты междисциплинарных направлений, связанных с анализом и синтезом сложных самоорганизующихся систем. Ведущую роль в анализируемом аспекте играет синергетический подход в образовании, который определяет проектирование индивидуальных образовательных сред, складывающихся из образовательных элементов разных уровней на основе процессов самоорганизации

ее субъектов. Синергетический подход основан на механизмах междисциплинарного взаимодействия с целью создания новых, более сложных структур, обладающих новым качеством [4].

Целью настоящей работы является изучение и анализ необходимости использования АТ в образовательном процессе учебных заведений. Кроме того, к целям работы относится изучение использования АТ при решении задач моделирования систем с интеллектуальными и когнитивными компонентами, а также исследование возможностей автоматизированных интеллектуальных систем обучения на основе искусственного интеллекта. Авторами для реализации поставленной цели был проведен краткий анализ работ отечественных исследователей, занимающихся вопросами изучения АТ и их внедрением в образовательный процесс, приведена краткая сравнительная характеристика существующих на сегодняшний день видов АТ, представлены результаты и перспективы внедрения технологий 3D-печати в Елецком государственном университете им. И.А. Бунина (ЕГУ). Предложены перспективные направления применения полученных результатов по совершенствованию процесса 3D-печати в учебных курсах для студентов и аспирантов ИТ-специальностей. Рассмотрены вопросы применения методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий в системах 3D-прототипирования. Предложены варианты использования АТ при решении задач моделирования систем с интеллектуальными компонентами.

В настоящей работе проанализированы методы разработки автоматизированных интеллектуальных систем обучения на основе искусственного интеллекта, в частности, применительно к обучению математическим дисциплинам в системе общего образования. Изучены особенности подготовки педагогических кадров для их эффективной деятельности, связанной с использованием гибридных обучающих сред и цифровых персонализированных платформ (на примере подготовки педагогов-математиков). Показано, что использование АТ в системе общего образования является одним из инструментов повышения эффективности обучения математике в средней школе в рамках цифровой трансформации образования. В работе АТ рассмотрены как звено структуры гибридной интеллектуальной обучающей системы в триаде «педагог – компьютер – обучающийся».

1. Роль аддитивных технологий в образовательном и исследовательском процессах

1.1. Краткий обзор работ по внедрению и изучению аддитивных технологий.

Аддитивные технологии – обобщенное название технологий, которые являются основой комплекса принципиально новых производственных процессов, предполагающих изготовление изделия (3D-печать) по данным цифровой модели (CAD-модели) методом послойного добавления различного рода материала (от англ. add – «добавлять»). Инновационные технологии 3D-печати востребованы в различных областях деятельности, таких как машиностроение, архитектура, медицина, искусство, сфера дизайна, пищевое производство. В сфере образования 3D-печать представляет разнообразные возможности: создание макетов, наглядная демонстрация уменьшенных



копий реальных деталей и механизмов, наглядное изучение физико-химических процессов. Благодаря своим особенностям и весомому потенциалу, АТ постепенно внедряются в образовательный процесс учебных заведений всех уровней образования и имеют широкие перспективы применения в науке [5–12]. С учетом внимания многих исследователей к проблемам разработки и применения АТ, указанные технологии рассматриваются не только в качестве предмета изучения, но и как движущий фактор в появлении новых форм обучения и исследовательских методик.

На сегодняшний день активно реализуются проекты по обеспечению средних образовательных школ и технических учреждений устройствами 3D-печати [6], постепенно разрабатываются методики обучения с помощью применения АТ [7]. Методические рекомендации по использованию персональных печатающих устройств в 5–7 классах предложены в [8]. В [9] изложены возможные направления применения АТ в образовательном процессе современной школы (урочной и внеурочной учебной деятельности школьников). Показана значимость АТ для современного общества и развития экономики стран. Кроме того, в [9] изучены перспективы использования АТ в России, рассмотрен вопрос о необходимости их масштабного внедрения в учебный процесс современной школы.

Однако более широкое и эффективное применение технологии быстрого прототипирования могут найти в образовательном процессе высших учебных заведений, где учебная деятельность находится в тесной взаимосвязи с исследовательской [10–12]. В [5, 7] показано, что использование технологий 3D-моделирования и 3D-прототипирования в образовательном процессе способствует более эффективному формированию уровня профессиональной подготовки, чем изучение графических и технических дисциплин по традиционной методике. В [7] приведены рекомендации по выбору аппарата прототипирования для его использования в образовательном процессе, описываются педагогические и методические аспекты применения данной технологии на примере изучения дисциплины «Детали машин» на факультете технологии и предпринимательства Новосибирского государственного педагогического университета. В [11] представлены результаты внедрения основных этапов технологий быстрого прототипирования в учебный процесс университета и рассмотрены технологические процессы и материалы, которые могут применяться в зависимости от поставленных исследовательских задач. Кроме того, в [11] перечислены возможные сферы применения АТ на различных направлениях подготовки, предложены методики развития необходимых компетенций и организации работы с оборудованием для преподавателей, которые предполагают разрабатывать свои учебные материалы. Вопрос о целесообразности применения 3D-печати на разных этапах обучения при геометро-графической подготовке специалистов рассмотрен в [12].

АТ представляют собой процесс постепенного создания (выращивания) изделия путем присоединения, наплавления материала слой за слоем. Они являются противоположностью классическому способу производства – субтрактивному (от англ. subtraction – «изымать»), в ходе которого изделие изготавливается за счет постепенного отъема материала (путем фрезерования, штамповки, резки и т.д.). Начало промышленному использованию АТ 3D-печати было положено в 1986 году Чаком Халлом – основателем компании 3D-Systems. С этого

времени технологии продвинулись от быстрого прототипирования до практически конвейерного производства готовых изделий, причем процесс совершенствования АТ сопровождался развитием нескольких их видов.

В настоящее время технологии 3D-печати разделяются на четыре группы в зависимости от метода изготовления [13]:

- 1) экструдирование – выдавливание расплавленного материала;
- 2) фотополимеризация – отверждение полимера УФ или лазерным излучением;
- 3) печать методом спекания и плавления материалов;
- 4) ламинирование – склеивание слоев материала с последующим вырезанием.

В [14] приведена характеристика основных видов АТ, используемых для прототипирования 3D-объектов с учетом вышеприведенной классификации. Проведен анализ востребованных на сегодняшний день АТ по критериям технической оснастки принтера, технологического процесса печати и экономической составляющей, что позволило сделать вывод о целесообразности и экономической выгоде использования принтеров, функционирующих на основе FDM-технологии (Fused Deposition Modeling) для создания и прототипирования трехмерных объектов. Подробно ряд преимуществ данного вида технологии быстрого прототипирования описан в [5–11] и в работах других авторов. Отметим, что FDM-технология обладает рядом важных и существенных свойств, позволяющих акцентировать ее преимущества по сравнению с другими видами технологии 3D-печати. В [14] отмечены следующие преимущества:

- достаточно простой принцип печати, легко реализуемый на основе распространенных электронных компонентов;
- возможность использования широкого спектра термопластичных материалов с различными характеристиками, в том числе безопасных для здоровья (как во время процесса, так и использования готового изделия) и не требующих специальных условий хранения и работы с ними;
- реализация в виде компактных персональных печатающих устройств, не требующих специализированных знаний по установке, подключению и эксплуатации;
- прототипирование объектов со сложной геометрией и полостями, которые оказываются не по силам другим технологиям;
- отсутствие шумовых загрязнений и отходов производства, требующих утилизации или специальных мест для установки;
- высокая разрешающая способность (до 20 микрон), возможность одновременной печати несколькими материалами или материалами нескольких цветов;
- низкая себестоимость как самих устройств, так и используемых материалов, возможность самостоятельной сборки печатающего устройства из готового конструктора или набора компонентов.

Кроме того, распечатанные на основе FDM-технологии изделия имеют высокие эксплуатационные характеристики и могут применяться в серийном производстве. Открытость технологии позволяет работать над совершенствованием и внедрением 3D-печатающих устройств в различные сферы.

Вышеперечисленные характеристики позволяют использовать FDM-принтеры для решения широкого спектра исследо-



вательских и научных задач, а также находят применение в различных организационных формах взаимодействия участников образовательного процесса. Необходимость использования других видов АТ может быть определена с точки зрения целесообразности и получения изделий с конкретными параметрами. Возможно, что следующим витком развития технологии 3D-печати станет усовершенствование SLS-технологии и ее широкое распространение. Возможно провести аналогию между переходом от FDM-технологии к SLS-технологии с переходом от струйных 2D-принтеров к лазерным 2D-принтерам.

В [15] проведено системное исследование существующих на сегодняшний день аддитивных технологий. Предложена принципиальная схема универсального технологического модуля для анализа работы общего алгоритма АТ при производстве сложных изделий. Кроме того, выполнено построение моделирующего комплекса, позволяющего с помощью проведения ряда вычислительных операций на ЭВМ осуществить выбор вида АТ в конкретной технико-экономической ситуации.

1.2. Результаты и перспективы внедрения аддитивных технологий в образовательный процесс.

Особенности внедрения и использования АТ в образовательном процессе ЕГУ им. И.А. Бунина постоянно обсуждаются на семинаре научного студенческого общества (НСО) «Моделирование технических систем» и на исследовательском семинаре преподавателей и студентов «Качественная теория и теория устойчивости дифференциальных уравнений и их приложения в математике, информатике и технических науках» кафедры математического моделирования и компьютерных технологий. Проблемы, связанные с изучением АТ и их использованием в современном мире, с разработкой и модификацией 3D-принтера, использующего FDM-технологии, с совершенствованием и улучшением процесса печати, являются актуальными и находят свое отражение в докладах студентов и педагогов. По итогам семинаров и конференций намечаются перспективы дальнейшей работы по совершенствованию АТ. Например, студенты НСО в настоящее время занимаются поиском решения таких вопросов, направленных на устранение недостатков FDM-технологии, как: 1) растекание пластика из-за нагрева за границы печатаемой области; 2) ограничение применения других материалов, кроме тех, которые поддаются расплавлению и продавливанию; 3) чувствительность к перепадам температур во время процесса печати.

В настоящее время в НСО Елецкого университета используются FDM-принтеры двух конструкций: PrintBox3D One и Anycubic 4MAX 9. Вышеуказанные принтеры имеют схожие технические характеристики, однако они отличаются кинематическими схемами. Конструкция PrintBox использует схему X-head, ZY-bed, а конструкция использует Anycubic схему XY-head, Z-bed. Это существенное отличие определяет качество печати. Схема, используемая PrintBox, менее стабильна, и вызывает больше вибраций, поэтому осуществлять перемещение стола намного сложнее по двум осям, чем по одной, что приводит к снижению качества печати, чего нельзя сказать о конструкции Anycubic. В данном принтере стол перемещается только по оси Z по двум направляющим, что делает конструкцию более устойчивой, исключая лишние вибрации. Также к преимуществам конструкции Anycubic можно отнести большую площадь печати и специальное адгезионное покрытие, которое позволяет печатать без нанесения на стол дополнительных средств. Кроме того, конструкция Anycubic имеет закрытый корпус, который можно трансформировать в теплоизолирующий кожух. Использование теплоизолирующего кожуха позволяет печатать пластиком типа ABS.

Как показала практика, проведение научных семинаров НСО представляет как теоретическое, так и прикладное значение. В ходе проведенного в ЕГУ им. И.А. Бунина анкетированного опроса большинство преподавателей проявило интерес к возможностям 3D-печати для использования в преподавательской деятельности. В ходе дискуссий научных семинаров было отмечено, что учебные курсы по изучению аддитивных технологий и их приложений должны иметь не узкую направленность, поскольку полезны не только студентам и аспирантам ИТ-специальностей.

Важной проблемой является подготовка кадров для средней школы с учетом цифровой трансформации целей образования и создания платформ персонализированного образования, ориентированных на искусственный интеллект. Применительно к дисциплинам математического цикла цифровые платформы позволяют не заучивать большое количество теорем и рассуждений, а направлены на самостоятельный поиск и эксперимент, разработку новых идей и наличие обратной связи. В частности, цифровая трансформация на уроках геометрии с применением аддитивных технологий связана с моделированием разнообразной реальности с использованием компьютера, а также связана с наглядностью преподнесения материала. Указанный подход к обучению приводит к самостоятельному эксперименту с математическими объектами. В настоящее время с изучением и использованием АТ может быть связан ряд дисциплин для направления подготовки 44.03.01 Педагогическое образование следующих профилей:

Важной проблемой является подготовка кадров для средней школы с учетом цифровой трансформации целей образования и создания платформ персонализированного образования, ориентированных на искусственный интеллект. Применительно к дисциплинам математического цикла цифровые платформы позволяют не заучивать большое количество теорем и рассуждений, а направлены на самостоятельный поиск и эксперимент, разработку новых идей и наличие обратной связи. В частности, цифровая трансформация на уроках геометрии с применением аддитивных технологий связана с моделированием разнообразной реальности с использованием компьютера, а также связана с наглядностью преподнесения материала. Указанный подход к обучению приводит к самостоятельному эксперименту с математическими объектами. В настоящее время с изучением и использованием АТ может быть связан ряд дисциплин для направления подготовки 44.03.01 Педагогическое образование следующих профилей:

- Математика, информатика;
- Математика, физика;
- Физико-математическое образование и информатика;
- Физико-математическое образование и дополнительное образование (техническое моделирование и робототехника), а также для направления подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, профиль Математика и информационные технологии.

Несмотря на то, что каждое из различных направлений подготовки и профилей имеет свою специфику, можно выделить общие для них способы изучения и применения 3D-печати: 1) объект для развития практических навыков и получения новых компетенций; 2) технология или инструмент исследовательской деятельности; 3) инструмент для совершенствования учебного процесса и обеспечения электронного обучения. Вопросы, связанные с вариативностью изучения FDM-технологии и с целесообразностью ее использования в образовательном процессе гуманитарного, естественнонаучного, физико-математического направлений подготовки вузов, рассмотрены в [11].

В Елецком университете технология 3D-печати находит применение в контексте проводимой учебной и исследовательской деятельности при подготовке студентов следующих ИТ-специальностей: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 – Информационные системы и технологии, 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника (профиль подготовки: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) [14]. В рамках учебных занятий



по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика», проводимых на втором и третьем курсах бакалавриата указанных направлений, имеет место обучение черчению и чтение чертежей различных деталей. Чертеж дает представление о форме и размерах предмета, но не обладает нужной наглядностью. Возникает необходимость вычерчивания дополнительного изображения заданной детали в аксонометрии. Для изучения темы «Аксонометрия» и вычерчивания деталей в объеме традиционно используют модели деталей, изготовленных из дерева и металла в виде макетов. Такие макеты зачастую оказываются примитивными. Металлические детали упрощаются из-за сложности изготовления фигурных плоскостей. С помощью 3D-принтера студенты получают модели деталей любой сложности, включая наклонные и фигурные поверхности. Безусловно, такое представление детали способствует развитию у обучающихся пространственного мышления. Кроме того, формируются навыки выполнения чертежей деталей различной степени сложности. На занятиях студентам предлагаются различные задания с целью тренировки пространственного мышления и приобретения навыков вычерчивания 3D-моделей деталей в графическом редакторе КОМПАС. Также студенты получают навыки в определении размеров, взаимного расположения поверхностей и базирования модели (или нескольких моделей) на рабочем столе 3D-принтера. Модель пересчитывается в программе Repetier-Host (слайсинг), и производится демонстрация послойной технологии печати расплавленной полимерной нитью с последовательным наращиванием поверхностей детали. При изучении темы «Деталирование» студенты, пользуясь сборочным чертежом, собирают сборочную единицу и в случае необходимости изготавливают на 3D-принтере недостающие детали. Кроме того, студенты самостоятельно выбирают эргономические показатели изготавливаемой детали.

Дополнительную возможность работы с 3D-принтером студенты IT-специальностей университета могут получить в рамках работы НСО, основными направлениями научно-исследовательской деятельности которого является: моделирование в различных областях, разработка механизмов и их частей, исследование физических процессов, автоматизация лаборатор-

ного эксперимента и т.п. Особенно следует выделить такое инновационное направление, реализуемое в НСО, как DIY-робототехника (от англ. do it yourself – «сделай это сам»). Концепция DIY-робототехники предполагает более творческий подход в разработке собственных идей и реализацию механических составляющих, чем те, которые предлагаются в готовых робототехнических конструкторах.

В стратегии развития научно-исследовательской деятельности важно отметить роль сотрудничества ЕГУ им. И.А. Бунина с Федеральным исследовательским центром «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва. Ежегодно научные сотрудники ФИЦ ИУ РАН принимают участие в научно-практических конференциях и семинарах, организованных преподавателями кафедры математического моделирования и компьютерных технологий и членами НСО на базе ЕГУ им. И.А. Бунина. В рамках таких встреч проходит обмен опытом и практическими разработками по различным вопросам в области математического моделирования технических систем с применением комплексов проблемно-ориентированных программ, а также рассматриваются возможности применения инновационных информационных технологий в сфере образования, научных исследованиях, технических разработках. Итогом таких конференций является издание сборника научных трудов, содержащего работы молодых ученых, студентов и аспирантов.

Использование 3D-печати в образовательном процессе вузов находится еще на этапе становления, но при этом просматриваются достаточно широкие перспективы дальнейшего применения с учетом совершенствования АТ. Членами методического совета ЕГУ им. И.А. Бунина и преподавателями кафедры математического моделирования и компьютерных технологий было принято совместное решение о необходимости внедрения в учебные дисциплины (пока профильной направленности) модулей, раскрывающих сущность и применение АТ, в том числе процесс использования FDM-технологии при прототипировании 3D-объектов. В таблице 1 представлен список математических и смежных направлений и дисциплин по изучению АТ на уровнях высшего образования.

Таблица 1. Изучение аддитивных технологий в рамках высшего образования (применительно к математическим специальностям)
Table 1. Study of additive technologies in the framework of higher education (in relation to mathematical specialties)

I. Математика и информатика, уровень образования – бакалавриат	II. Физико-математическое образование и информатика (уровень образования – бакалавриат)	III. Физико-математическое образование и дополнительное образование (техническое моделирование и робототехника), уровень образования – бакалавриат	IV. Математика и информационные технологии, уровень образования – магистратура
<ol style="list-style-type: none"> 1. Информационные технологии, 1 курс, 2 семестр. 2. Инфокоммуникационные технологии, 5 курс, семестр А. 3. Технологии проектирования математического развития, 5 курс, семестр А. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Информационные технологии, 1 курс, 2 семестр. 2. Инфокоммуникационные технологии, 5 курс, семестр А. 3. Технологии проектирования математического развития, 5 курс, семестр А. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Информационные технологии, 1 курс, 2 семестр. 2. Технологии проектирования математического развития, 5 курс, семестр А. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теория и методика обучения математике в профильных классах, 1, 2 курсы, 2–4 семестры. 2. Математическое образование в современном мире, 1 курс, 2 семестр. 3. Информационные технологии в профессиональной деятельности учителя математики, 2 курс, 3 семестр. 4. Развитие мыслительной деятельности обучающихся средствами информационных технологий, 2 курс, 3 семестр.



Актуальным вопросом остается вопрос о разработке дополнительных факультативных курсов по применению АТ, в частности, FDM-технологии в различных областях деятельности (с учетом промышленной или отраслевой направленности и востребованности региона) и об их внедрении в учебные планы для ИТ-направлений, перечисленных в таблице 1. Технологии 3D-печати открывают дополнительные перспективы для научно-исследовательской деятельности студентов и аспирантов ИТ-специальностей и инженерно-технических специальностей ЕГУ им. И.А. Бунина.

Указанные в таблице 1 дисциплины формируют взгляды на преподавание будущих учителей математики. Важно подчеркнуть, что при изучении этих дисциплин в настоящее время требуются развернутые методики, связанные с цифровизацией обучения математике, а также с цифровой трансформацией и с созданием платформ персонализированного образования, ориентированных на искусственный интеллект. Первый этап цифровой трансформации среднего образования связан с применением цифровых ресурсов на уроках математики, алгебры и геометрии. Второй этап цифровой трансформации позволяет провести интеграцию образовательной деятельности и взаимодействия на цифровой платформе, связанной с гибридной обучающей средой. Для данного этапа характерно персонализированное планирование и сбор данных. Третий этап в перспективе позволит осуществлять анализ больших данных и служит основой для автоматизированной адаптивности математического образования. Цифровая трансформация математического образования направлена на достижение индивидуальных целей для каждого обучающегося на цифровой платформе в реальной школе. При таком подходе к обучению в средней школе усиливается обратная связь, создаются новые формы измерения и аттестации, создаются персональные планы и пути, отслеживаются достижения целей, усиливается ориентация на результат. У обучающихся развиваются возможности преадаптивности и самостоятельных открытий в процессе изучения математики в средней школе.

Поскольку 3D-проектирование используется в проектной и инновационной деятельности, важными являются вопросы создания инженерных подготовительных классов, ориентированных на подготовку будущих студентов инженерно-физических и технических направлений подготовки и их последующую работу на современном оборудовании. Кроме того, перспективными направлениями являются использование 3D-принтеров в качестве наглядного пособия при проведении выездных лекций и мастер-классов в школах. Так, к примеру, в ЕГУ им. И.А. Бунина ежегодно в период зимних каникул проводится университетская школа «ОНИКС» («Образование-Наука-Искусство-Культура-Спорт») для учащихся 1–11 классов школ г. Ельца, Елецкого и других районов Липецкой области. Школьникам предлагаются различные тематические площадки, они могут стать участниками разнообразных мастер-классов, образовательных квестов, тренингов. Организаторами ОНИКСа отмечена популярность таких площадок, как: «3-D моделирование архитектурных объектов и робототехника для начинающих», технопарк «Юный инженер», «Использование аддитивной технологии 3D-печати в сфере ремонтно-технического обслуживания бытовых приборов». В рамках работы указанных площадок участники университетской школы знакомятся с видами АТ, с устройством и спецификой работы 3D-принтера и 3D-ручки, с особенностями выполнения 3-D моделей архитектуры средствами 3-D печати и

с возможностями применения 3D-принтера в быту.

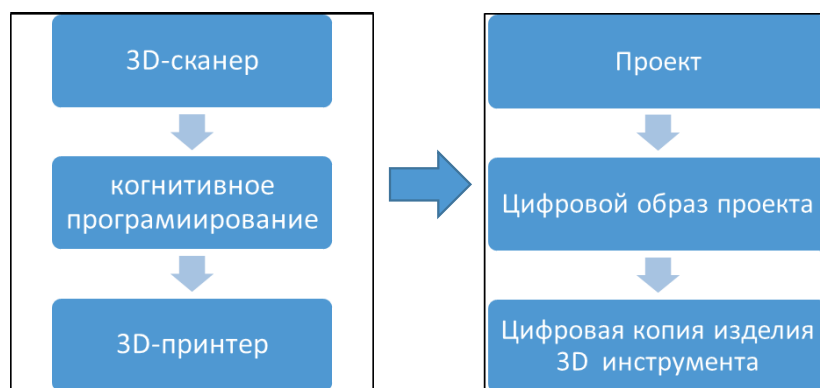
Несомненно, важным является открытие в регионе при государственной поддержке центров молодежного инновационного творчества (ЦМИТ) и технопарков. Центры и технопарки должны обеспечить доступ детей и студентов к современному 3D-оборудованию для реализации, проверки и коммерциализации их инновационных идей. Нельзя не оставить без внимания научно-техническую поддержку инновационного творчества молодежи, разрабатывающих перспективные виды продукции и технологий. Отметим, что Липецкая область с 2019 года участвует в реализации национального проекта «Образование», который направлен на обеспечение глобальной конкурентоспособности российского образования и вхождение России в число десяти стран мира по качеству образования. Одной из составляющей национального проекта стал федеральный проект «Современная школа», в рамках которого в Липецкой области организованы Центры образования цифрового профиля «Точка роста». На сегодняшний день в регионе работают 25 таких центров, организованных как на базе городских, так и сельских школ. «Точки роста» призваны обеспечить доступность освоения детьми основных и дополнительных программ цифрового и других профилей. В работе центров используется современное оборудование, для проведения занятий по робототехнике и информатике используются квадрокоптеры, 3D-принтеры, очки виртуальной реальности.

Также одним из перспективных направлений внедрения АТ в образовательный и исследовательский процессы являются взаимодействие и обмен опытом с научными организациями и высшими учебными заведениями, осуществляемые в виде онлайн-конференций и научных семинаров, рабочих выездных встреч и регулярных обучающих мероприятий, а также реализация дополнительных программ профессиональной переподготовки по освоению АТ.

2. Области применения искусственного интеллекта в задачах моделирования сложных систем.

2.1. Использование методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий в системах 3D-прототипирования. Искусственный интеллект (ИИ), технологии управления интеллектуальными устройствами, суперкомпьютерные и АТ многими исследователями выделяются в качестве основных с учетом уровня развития сквозных цифровых технологий. Важно отметить, что разработка технологий должна быть подкреплена адекватными математическими моделями, которые обеспечивают теоретические исследования объекта, при которых непосредственно изучается не сам объект, а его модель, представляющая в результате исследования информацию о самом моделируемом объекте. Среда для моделирования обеспечивается передовыми разработками программно-аппаратных средств моделирования систем с применением методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий. В частности, применение методов теории нечетких множеств, теории адаптивного управления и подхода к описанию динамических систем на основе моделей Такаги–Суджено рассмотрено в работах [16–19].





Р и с. 1. Структура цифровой 3D-технологии когнитивного программирования

F i g. 1. The structure of digital 3D cognitive programming technology

Следует отметить значимость применения когнитивных технологий при проектировании сложных систем с неполной информацией [20]. Когнитивные карты, являющиеся основным комплексным инструментарием когнитивного подхода, позволяют моделировать знания эксперта и представлять их в виде машинных выводов, зачастую в форме логических правил вида *если..., то*. Использование аппарата взвешенных знаковых и функциональных знаковых графов для такой технологии моделирования позволяет обрабатывать данные как качественного, так и количественного типа. Отметим, что при когнитивном моделировании создаются концепты и отношения, характеризующие предметную область и связывающиеся между собой, а также определяются и выделяются стратегические цели и синтезируются стратегии по их достижению. Имеет место понятие управляемого когнитивного процесса для использования его при поддержке и принятии стратегических управленческих решений. Технология когнитивного моделирования заключается в исследовании проблемы с нечеткими факторами и взаимосвязями, предвидении изменений внешней среды, а также использовании объективно сложившиеся тенденции развития ситуации в своих интересах. Примеры использования когнитивной технологии для исследования систем с неполной информацией приведены в работах [21, 22]. Подход к разработке АТ с учетом внедрения искусственного интеллекта и когнитивных технологий в процесс 3D-прототипирования в настоящее время обусловлен использованием и развитием технологий быстрого прототипирования в различных областях применения. В частности, такой подход важен при разработке АТ, связанных с формированием и созданием изделия при необходимости программируемого управления расходным (строительным) материалом в среде 3D-инструмента. Такого вида технологии также называют технологиями быстрого прототипирования или RP-технологиями (Rapid Prototyping).

Структурные компоненты цифровой 3D-технологии когнитивного программирования пространственных объектов приведены на рис. 1. Подробное описание компонентов цифровой 3D-технологии когнитивного программирования представлено в [23].

Каждый компонент имеет собственную технологическую специфику инструмента, оборудования и программного решения. Проблема использования когнитивного программи-

рования состоит в профессиональной специфике системного интегрированного взаимодействия совместимости программных продуктов для 3D-сканирования, объектного когнитивного программирования (творческий процесс) и реализации сложных пространственных форм на 3D-принтере, учитывающей особенности технологии прототипирования. Качество и скорость создания цифрового образа проекта (ЦОП), требует знания не только приложений и возможностей 3D-сканера, программ 3D-моделирования, возможностей 3D-принтеров, но и творческой специфики областей знаний проектируемого объекта. Именно этим и определяется сущность когнитивной программируемой технологии [24]. Актуальность когнитивных программируемых технологий связана с эффективным тиражированием и распространением цифровых копий изделий по телекоммуникационным сетям. Появления сложной пространственной формы цифровой копии изделия (ЦКИ) основано на когнитивном проектировании макета и создании цифрового образа проекта. Заключительные этапы 3D-технологии: когнитивное программирование, адаптация ЦОП (цифровая обработка объекта) для передачи, трансляции, эмуляции ЦКИ под требуемую технологию 3D-принтера.

Отметим, что важной составляющей ЦОП являются программные пакеты, позволяющие моделировать цифровые образы проектов и создавать пространственные объекты, которые на сегодняшний день достаточно разнообразны. К наиболее популярным следует отнести: Rhinoceros 3D, Nevercenter Silo, ZBrush, Lightwave 3D, 3design CAD, CATIA и SolidWorks (Dassault Systèmes), КОМПАС, Maxon Cinema 4D. Из доступных бесплатных программных обеспечений следует назвать: Blender (создание 3D-модели с последующей компьютерной визуализацией), SALOME, FreeCAD. Для проведения 3D-моделирования используют также и коммерческие пакеты компании AutoDesk (например, 3D-Studio Max, Maya). Таким образом, основной проблемой 3D-технологии когнитивного программирования является проблема совместимости разрешающей способности ЦОП, ЦКИ и технологии 3D-прототипирования.

Примером внедрения методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий в процесс 3D-прототипирования является промышленная система 3D-печати – 3D Systems Sinterstation HiQ+HS. Класс используемых материалов относится к гранулированному классу (термопластик, эластомеры, металлы, композиты) и приспособлен к технологиям быстрого



го производства. 3D Systems Sinterstation HiQ+HS основана на SLS-технологии и предназначена для производства долговечных пластиковых и металлических запчастей, многогранных инструментов, литейных моделей на основе файлов в формате 3D CAD. Преимуществом системы является то, что исключаются процессы обработки, шлифовки, литья или другие вторичные процессы с экономией средств и времени. Она автоматически производит функциональные части, литейные модели и многогранные инструменты из 3D CAD файлов. В системе используются упрощенные настройки подготовки печати и самого процесса печати, она удобна и понятна для начинающих пользователей. Кроме того, системе присуща повышенная автоматизация процессов, при этом нет необходимости в длительном обучении. К преимуществам системы относятся также: сниженная стоимость эксплуатации; уменьшение отходов и возможность повторного использования отработанных материалов; сложные запчасти и прототипы из полиамида, стекловолоконного нейлона; возможность производства сложных инструментов, запчастей и прототипов; возможность воспроизводить сложные узоры на литейных моделях.

В системе 3D Systems Sinterstation HiQ+HS максимальным физическим объемом печати является следующий объем: ширина 381 мм (ширина), длина 330 мм, высота 457 мм (XYZ). В используемой SLS-технологии выполняется автоматическая калибровка на основе «слой за слоем». Благодаря ей обеспечивается получение высококачественных деталей с правильными и точными механическими свойствами. Процесс управления печатью является простым в применении, с высокой повторяемостью операций от детали к детали, от процесса к процессу, при этом нет необходимости в длительном специальном обучении, при этом производятся запчасти, которые не нужно повторно обрабатывать. Фирменная SLS-система управления связана с интеллектуальной системой терморегулирования для поддержания рабочего состояния и качества запчастей. Диапазон температур во время работы 16-27°C, диапазон температур при установке 18-24°C, термоустойчивость $\pm 2^\circ\text{C}$. Интеллектуальная технология терморегулирования для поддержания рабочего состояния и качества запчастей в систему HiQ SLS точно контролирует уровень температуры во время всего процесса печати. Интеллектуальная система терморегулирования обеспечивает улучшение переработки материалов отходов материалов, которые подходят для использования системой Sinterstation HiQ (в частности, материалы DuraForm® PA, DuraForm GF и LaserForm™ A6), что приводит к снижению операционных затрат.

Цифровые 3D-технологии и когнитивное программирование открывают уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов и инженерных конструкций, механизмов. Реализация этих возможностей связана с цифровой технологией управления материальными частицами в объемной среде инструментов 3D-технологии. В объемной среде инструментов осуществляется технологический процесс, определяющий свойства воспроизводимого объекта. Технология когнитивного программирования является инновационным процессом цифрового творчества, промышленного и художественного производства в рамках цифровой программируемой технологии. С учетом этого, в перспективе системы 3D-печати могут рассматриваться как элемент крупномасштабной управляемой системы (например, в промышленности или технике, с применением технологий

машинного обучения для оптимизации параметров и др.). Интеллектуализация позволит оптимизировать работу за счет контроля всех этапов аддитивного производства: выявление неисправной детали (элемента) в ходе компьютерной диагностики, 3D-сканирование, выбор аддитивной технологии (материала), предварительные расчеты для создания модели; итоговая настройка 3D-принтера, получение новой детали (элемента). Создание интеллектуальных компонент крупномасштабных систем связано с разработкой программных интеллектуальных платформ нового поколения.

2.2. Аспекты разработки автоматизированных интеллектуальных систем обучения. Инновационным направлением в решении сложных задач управления познавательной деятельностью обучаемых, направленной на повышение их уровня самоорганизации и самообучения при непрерывном снижении степени участия преподавателя, является создание АИСО, использующих ИИ. Потенциал ИИ применительно к сфере передачи массива знаний поколению школьников и студентов представляется необычайно широким. Максимальные ожидания от эффекта применения ИИ в образовательном процессе связаны с созданием и внедрением:

- инновационных методов обучения;
- новых форм генерации знаний (интеллектуальные экспертные системы на основе BigData);
- новых каналов коммуникации знаний на основе программ с ИИ в диалоговых системах;
- новых форм подачи информации с акцентом на визуализацию;
- новых форм контроля усвоения учебных материалов с учетом индивидуальных особенностей субъектов образовательного процесса (школьников и студентов).

В качестве примера использования принципиально нового подхода в обучении можно привести внедрение британской ИИ-платформы Century Tech в образовательных организациях Фламандского региона Бельгии. Данная платформа использует обучающие методики и решения, а также применяет базовые принципы нейрофизиологии для определения наклонов, уровня знаний и выносливости школьников и студентов, темпа и подходящего времени для обучения, скорости перемещения информации из кратковременной в долговременную память. Перечисленная аналитика впоследствии включается в алгоритмы машинного обучения. Предполагается, что ИИ поможет адаптировать занятия под индивидуальные особенности каждого ученика.

В настоящее время в России подходит к завершению первый этап реализации национального проекта «Образование», глобальная цель которого – создание единой образовательной платформы, дающей возможность каждому школьнику получать качественное образование, в том числе с использованием адаптивного обучения и индивидуальных образовательных траекторий. В качестве примера по использованию ИИ в образовании можно привести российский стартап Parla, использующий приложение для изучения английского языка. В основе приложения находится программа, которая обучается вместе с учеником и адаптируется под его задачи и прогресс. Уже на этапе регистрации в приложении программа может анализировать данные из соцсетей и предлагать индивидуальную программу обучения, основанную на интересах конкретного человека. Параллельно внедрению ИИ в образование ведется разработка



модели единой цифровой образовательной среды. Примером автоматизации образовательного процесса можно назвать работу МЭШ (Московская Электронная Школа). В школах ряда российских регионов применяется такая современная образовательная среда, как «Мобильная электронная школа».

Проведенный анализ IT-педагогами ЕГУ им. И.А. Бунина установил недостаточный опыт внедрения интеллектуальных цифровых технологий в систему обучения предметным областям знаний, а также недостаточный уровень сформированности базовых компетенций в соответствии с требованиями цифровой экономики в условиях общего образования. Особое внимание следует уделить использованию инновационных ИКТ-инструментов при создании и реализации открытой и гибкой АИСО на основе гибридности методов искусственного интеллекта [1, 2]. Методы интеллектуального управления, представляющие собой интеграцию методов искусственного интеллекта и теории управления [25], эффективны при решении задач управления процессом обучения в триаде «педагог – компьютер – обучающийся». Задачи интеллектуального управления образовательными процессами требуют гибридного подхода с применением математического и компьютерного моделирования. Математические методы должны применяться для разработки содержания и иерархий знаний и процедур, инструментально-методического обеспечения интерактивной интеллектуальной обучающей и оценочной деятельности в информационных средах, в которых могут быть интегрированы функции экспертных систем, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. Следует отметить, что при проектировании гибридных интеллектуальных сред и платформ цифровой трансформации образования существенное значение имеет не только знание о приоритетных стратегиях и методах их изучения, но и знание эвристически применяемых принципов и подходов, обеспечивающих более конкретные и уточняющие технологические решения.

Во многих задачах моделирования структура динамических систем и ее параметры известны с некоторой погрешностью. Следовательно, также необходимым требованием к динамическим системам является их устойчивость (в том или ином смысле) по отношению к структурным и внешним возмущениям. В частности, построение алгоритмов исследования устойчивости позволяет проводить анализ влияния различных параметров на режимы функционирования сложных систем. Теории устойчивости и стабилизации динамических систем посвящены работы [29–32] и других отечественных и зарубежных ученых. Вопросы устойчивости систем интеллектуального управления рассмотрены в [18, 19, 32] и в других работах.

Одним из эффективных подходов к моделированию сложных систем интеллектуального управления является подход, базирующийся на аппроксимации исходной модели соответствующей моделью Такаги–Суджено. Построение прогнозирующих и управляющих логических компонентов динамических систем связано с разработкой алгоритмов искусственного интеллекта. В данном направлении эффективным является использование искусственных нейронных сетей и методов машинного обучения. В [26] дана строгая формализация основных терминов. Изучению нейронных сетей посвящены работы [27, 28] и другие работы.

В последнее десятилетие интерес к аппарату искусственных нейронных сетей в контексте количественного и качественно увеличения практики его применения в сфере образования

значимо усилился. В англоязычных странах вопросы персонализации и автоматизации обучения с применением технических и программных средств, работа которых основана на нейросетевых алгоритмах, уже давно успешно решаются. К числу таких программных продуктов относятся: GeekieLab, CTI – Content Technologies Inc, Mika, Microsoft Presentation Translator, Thinkster Math, Brainly, Cram101 и др. Многие отечественные исследователи занимались вопросом применения интеллектуальных компьютерных систем в образовании, основанных на нейросетевых технологиях. Применение нейросетевых технологий в адаптивном тестировании по информатике рассмотрено в [33]. В [34] представлено проектирование нейросетевой компьютерной обучающей системы. В [35] компьютерные нейросетевые технологии рассмотрены в качестве средства индивидуализированного обучения. В [36] рассмотрено интеллектуальное управление организацией учебно-воспитательного процесса. Перспективным направлением является использование аппарата искусственных нейронных сетей для инструментально-методического обеспечения образовательного процесса.

Заключение

Важность внедрения технологий быстрого прототипирования в образовательный и исследовательский процессы обусловлена их значительным инновационным потенциалом, целесообразностью и необходимостью их применения в различных отраслях и сферах деятельности. Такой инструмент, как АТ в рамках общего образования, направлен на реализацию всех трех этапов цифровой трансформации, а именно, указанные технологии могут быть использованы в рамках первого этапа, связанного с привлечением в образовательный процесс цифровых ресурсов. Кроме того, указанные технологии важны во втором и третьем этапах трансформации, характеризующимися персонализируемым планированием и автоматизированной адаптивностью. Следует отметить возможные перспективы по развитию и совершенствованию технологий 3D-печати, а именно их использование обучающимися в школе для наглядности геометрических представлений, а также применение при решении задач моделирования систем с интеллектуальными компонентами.

Создание специализированной теории, методологии и методики изучения АТ позволит подготовить высококвалифицированных педагогов, технических и управленческих АТ-специалистов, а также реализовать инновационные проекты освоения АТ. Однако не только интенсивное формирование теории и включение ее в учебные планы различных направлений подготовки университетов будет способствовать росту освоения АТ, но также совместное сотрудничество и обмен опытом, школ, вузов, производственных предприятий, открытие и работа в регионах ЦМИТ и технопарков. Возможность внедрения методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий в процесс 3D-прототипирования позволит создать новые крупномасштабные управляемые интеллектуальные системы, обеспечивающие оптимизацию и автоматизацию всех этапов аддитивного производства, эффективное и рациональное использование сырья, настройку параметров печати. Новый шаг в развитии АТ может быть связан с изучением в учебном процессе вузов методов искусственного интеллекта и когнитивных технологий.



Аддитивные технологии в процессе обучения математике могут рассматриваться как звено в структуре гибридной интеллектуальной обучающей среды применительно к триаде «педагог – компьютер – обучающийся». Подходы, связанные с нейросетевыми и аддитивными технологиями, могут быть в перспективе использованы при детальной разработке гибридной обучающей среды и персонализированной образовательной платформы в системе общего образования.

При разработке такой гибридной интеллектуальной обучающей среды могут использоваться методы нейросетевого моделирования, предложенные в [37]. Вопросы, связанные с изучением устойчивости сложных систем, к которым относятся и гибридные обучающие системы, могут быть исследованы с помощью результатов [18, 19, 32], в которых содержатся, в частности, методы анализа систем интеллектуального управления. При разработке указанной гибридной обучающей среды важными задачами являются анализ и синтез математических моделей и алгоритмов с применением методов интеллектуального управления, а также разработка базового математического обеспечения систем интеллектуальной поддержки процессов обучения, усвоения, контроля и оценки знаний применительно к предметной области математики в системе общего образования.

Список использованных источников

- [1] Басалин, П. Д. Реализация гибридной интеллектуальной обучающей среды производственного типа / П. Д. Басалин, Е. А. Кумагина, Е. А. Неймарк, А. Е. Тимофеев, И. А. Фомина, Н. Н. Чернышова. – DOI 10.25559/SITITO.14.201801.256-267 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14, № 1. – С. 256-267. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35050065> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [2] Слепцов, А. Ф. Интеллектуальная образовательная среда: теоретические подходы и возможности реализации / А. Ф. Слепцов, М. В. Слепцова // Современные исследования социальных проблем. – 2016. – № 5. – С. 70-88. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26718684> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [3] Булин-Соколова, Е. И. Будущее педагогическое образование. Направление движения и первые практические шаги / Е. И. Булин-Соколова, А. С. Обухов, А. Л. Семёнов // Психологическая наука и образование. – 2014. – Т. 19, № 3. – С. 207-225. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22413097> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [4] Knyazeva, N. The synergetic principles of nonlinear thinking / N. Knyazeva. – DOI 10.1080/02604027.1999.9972753 // The Journal of New Paradigm Research. – 1999. – Vol. 54, issue 2. – Pp. 163-181. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02604027.1999.9972753> (дата обращения: 18.02.2020).
- [5] Шайхутдинов, Т. Ф. 3D-принтеры в современном мире и образовании / Т. Ф. Шайхутдинов, А. М. Гильманова // Материалы 42-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Т. 1. – Уфа: УГНТУ, 2015. – С. 323-334. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24894096> (дата обращения: 18.02.2020).
- [6] Окладникова, Т. В. 3D-печать в образовании / Т. В. Окладникова, Е. А. Литвинцева, А. П. Окладников, Л. В. Неведимова // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке»: в 17 частях. – Тамбов, 2014. – С. 108-109. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22495611> (дата обращения: 18.02.2020).
- [7] Лейбов, А. М. Применение технологий 3D-прототипирования в образовательном процессе / А. М. Лейбов, Р. В. Каменев, О. М. Осокина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 93. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22566422&> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [8] Eisenberg, M. 3D printing for children: What to build next? / M. Eisenberg. – DOI 10.1016/j.ijcci.2012.08.004 // International Journal of Child-Computer Interaction. – 2013. – Vol. 1, issue 1. – Pp. 7-13. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212868912000050> (дата обращения: 18.02.2020).
- [9] Бершадский, М. Е. Применение аддитивных технологий в образовательном процессе основной школы / М. Е. Бершадский // Инновационные проекты и программы в образовании. – 2016. – № 5. – С. 12-21. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26903288> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [10] Липницкий, Л. А. Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе / Л. А. Липницкий, Т. В. Пильгун. – DOI 10.21122/2309-4923-2018-3-76-82 // Системный анализ и прикладная информатика. – 2018. – № 3. – С. 76-82. – URL: <https://sapi.bntu.by/jour/article/view/228> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [11] Заседатель, В. С. Образовательный потенциал технологий быстрого прототипирования / В. С. Заседатель. – DOI 10.15862/220PVN515 // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 5. – С. 193. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25380944> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [12] Абросимов, С. Н. 3D-печать как составляющая часть учебного процесса по геометро-графическим дисциплинам / С. Н. Абросимов, Д. Е. Тихонов-Бугров // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2017. – Т. 1. – С. 169-175. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29959903> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [13] Кушнир, А. П. Классификация технологий 3D печати / А. П. Кушнир, В. Б. Лившиц // Дизайн. Теория и практика. – 2014. – № 18. – С. 74-84. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857288> (дата обращения: 18.02.2020).
- [14] Игонина, Е. В. Особенности разработки и применения FDM-технологии при создании и прототипировании 3D-объектов / Е. В. Игонина, О. В. Дружинина. – DOI 10.25559/SITITO.2017.2.224 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 2. – С. 185-193. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258676> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [15] Смирнов, О. И. Моделирование технологии послойного синтеза при разработке изделий сложной формы / О. И. Смирнов, С. В. Скородумов // Современные наукоем-



- кие технологии. – 2010. – № 4. – С. 83-87. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13919878> (дата обращения: 18.02.2020).
- [16] Tanaka, K. Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach / K. Tanaka, H. O. Wang. – New York: Wiley, 2001.
- [17] Takagi, T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno. – DOI 10.1109/TSMC.1985.6313399 // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. SMC-15, no. 1. – Pp. 116-132. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6313399> (дата обращения: 18.02.2020).
- [18] Дружинина, О. В. Методы анализа устойчивости динамических систем интеллектуального управления / О. В. Дружинина, О. Н. Масина. – М.: ЛЕНАНД, 2016.
- [19] Дружинина, О. В. О подходах к анализу устойчивости нелинейных динамических систем с логическими регуляторами / О. В. Дружинина, О. Н. Масина. – DOI 10.25559/SITITO.2017.2.234 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13, № 2. – С. 40-49. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258625> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [20] Силантьева, А. В. Когнитивные технологии в информатике / А. В. Силантьева, Н. Б. Толпинская, О. А. Орешкина, В. И. Неземский. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [21] Михалев А.И., Новикова Е.Ю. Нечетко-когнитивный подход в задаче управления процессов выплавки FESI / А. И. Михалев, Е. Ю. Новикова // Адаптивные системы автоматического управления. – 2006. – № 9(29). – С. 133-139. – URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9927/1/16.pdf> (дата обращения: 18.02.2020).
- [22] Игонина, Е. В. Применение когнитивного подхода к исследованию систем с неполной информацией / Е. В. Игонина // Сборник материалов V Международной научной конференции «Актуальные проблемы математики и информатики: теория, методика, практика», посвященной 150-летию со дня рождения академика С.А. Чаплыгина. – Елец, ЕГУ им И.А. Бунина, 2019. – С. 20-21. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41122395> (дата обращения: 18.02.2020).
- [23] Александрова, В. В. 3D-технология и когнитивное программирование / В. В. Александрова, А. А. Зайцева // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2012. – Т. 10, № 5. – С. 61-64. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17830418> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [24] Александров, В. В. Цифровые программируемые технологии / В. В. Александров, В. А. Сарычев // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2010. – Т. 8, № 11. – С. 3-9. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16527112> (дата обращения: 18.02.2020). – Рез. англ.
- [25] Васильев, С. Н. К интеллектуальному управлению / С. Н. Васильев // Нелинейная теория управления и ее приложения. – М.: Физматлит, 2000. – С. 57-127.
- [26] Мак-Каллок, У. С. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности / У. С. Мак-Каллок, В. Питтс // Автоматы / под ред. К.Э. Шеннона, Дж. Маккарти. – М.: Изд-во иностр. лит., 1956. – С. 363-384.
- [27] Головки, В. А. Нейронные сети. Обучение, организация и применение / В. А. Головки. – Книга 4. – М.: ИПРЖР, 2001.
- [28] Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001.
- [29] Бабрашин, Е. А. Введение в теорию устойчивости / Е. А. Бабрашин. – М.: URSS, 2014.
- [30] Воротников, В. И. Основы теории частичной устойчивости и управления / В. И. Воротников, В. В. Румянцев. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014.
- [31] Шестаков, А. А. Обобщенный прямой метод Ляпунова для систем с распределенными параметрами / А. А. Шестаков. – М.: УРСС, 2007.
- [32] Масина, О. Н. Моделирование и анализ устойчивости некоторых классов систем управления / О. Н. Масина, О. В. Дружинина. – М.: ВЦ РАН, 2011.
- [33] Горюшкин, Е. И. Использование нейросетевых технологий в адаптивном тестировании по информатике в вузе: дис. ... канд. пед. наук. Курск, 2009.
- [34] Грушевский, С. П. Проектирование учебно-информационных комплексов / С. П. Грушевский, А. И. Архипова. – Краснодар: Изд-во КубГУ, 2000.
- [35] Добровольская, Н. Ю. Компьютерные нейросетевые технологии как средство индивидуализированного обучения студентов физико-математических специальностей: дис. ... канд. пед. наук. Краснодар, 2009.
- [36] Туктарова, Л. Р. Системное моделирование интеллектуального управления организацией учебно-воспитательного процесса: На примере учебного заведения среднего профессионального образования: дис. ...канд. тех. наук. Уфа, 2001.
- [37] Druzhinina, O. V. The Synthesis of the Switching Systems Optimal Parameters Search Algorithms / O. V. Druzhinina, O. N. Masina, A. A. Petrov. – DOI 10.1007/978-3-030-10934-9_22 // Optimization and Applications. OPTIMA 2018 / ed. by Y. Evtushenko, M. Jaćimović, M. Khachay, Y. Kochetov, V. Malkova, M. Posypkin. – Communications in Computer and Information Science. – Vol. 974. – Springer, Cham, 2019. – Pp. 306-320. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-10934-9_22#citeas (дата обращения: 18.02.2020).

*Поступила 18.02.2020; принята к публикации 20.04.2020;
опубликована онлайн 25.05.2020.*

Об авторах:

Дружинина Ольга Валентиновна, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН (119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44-2); главный научный сотрудник, Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65), доктор физико-математических наук, профессор, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9242-9730>, ovdruzh@mail.ru

Игонина Елена Викторовна, доцент кафедры математического моделирования и компьютерных технологий, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28-1), кандидат физико-матема-



тических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7369-6219>, elenaigonina7@mail.ru

Масина Ольга Николаевна, заведующий кафедрой математического моделирования и компьютерных технологий, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28-1), доктор физико-математических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0934-7217>, olga121@inbox.ru

Петров Алексей Алексеевич, старший преподаватель кафедры математического моделирования и компьютерных технологий, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28-1), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3011-9278>, xeal91@yandex.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Basalin P.D., Kumagina E.A., Neymark E.A., Timofeev A.E., Fomina I.A., Chernyshova N.N. Rule-Based Hybrid Intelligent Learning Environment Implementation. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018; 14(1):256-267. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.256-267>
- [2] Sleptsov A.F., Sleptsova M.V. Intelligent Educational Environment: Theoretical Approaches and Possible Implementation. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2016; (5):70-88. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26718684> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [3] Bulin-Sokolova E.I., Obukhov A.S., Semenov A.L. Emerging Teacher Education. Direction of Changes and First Practical Steps. *Psychological Science and Education*. 2014; 19(3):207-225. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22413097> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Knyazeva H. The synergetic principles of nonlinear thinking. *The Journal of New Paradigm Research*. 1999; 54(2):163-181. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1080/02604027.1999.9972753>
- [5] Shaikhutdinov T.F., Gilmanova A.M. 3D-Printers in the Modern World and Education. In: *Proceedings of the 42nd International scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students*, vol. 1. Ufa, Ufa State Technical University; 2015. p. 323-334. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24894096> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [6] Okladnikova T.V., Litvintseva E.A., Okladnikov A.P., Nevedimova L.V. 3D-printing in education. In: *Proceedings of the International scientific-practical conference "Science and Education in the XXI Century"*. Tambov; 2014. p. 108-109. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22495611> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [7] Leybov A.M., Kamenev R.V., Osokina O.M. Application of 3D Technologies Prototyping in Educational Process. *Modern problems of science and education*. 2014; (5):93. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22566422&> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [8] Eisenberg M. 3D printing for children: What to build next? *International Journal of Child-Computer Interaction*. 2013; 1(1):7-13. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2012.08.004>
- [9] Bershadskiy M.E. The use of additive technologies in the educational process of the primary school. *Innovative projects and programs in education*. 2016; 5:12-21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26903288> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Lipnitski L.A., Pilgun T.V. Additive Technologies and their Perspectives in Education. *System analysis and applied information science*. 2018; (3):76-82. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2018-3-76-82>
- [11] Zasedatel V.S. Educational Potential of Rapid Prototyping Technologies. *Naukovedenie*. 2015; 7(5):193. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.15862/220PVN515>
- [12] Abrosimov S.N., Tikhonov-Bugrov D.E. 3D Printing as a Component of Geometric and Graphical Disciplines Training Course. In: *Proceedings of the VII International Internet Conference "Quality of graphic preparation"*, vol. 1. Perm; 2017. p. 169-175. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29959903> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [13] Kushnir A.P., Livshits V.B. Classification of 3D printing technologies. *Dizayn. Teoriya i praktika = Design. Theory and practice*. 2014; (18):74-84. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22857288> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [14] Igonina E.V., Druzhinina O.V. Particular Qualities of the Development and Application of FDM-technology for Creating and Prototyping 3D-objects. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2017; 13(2):185-193. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.2.224>
- [15] Smirnov O.I., Skorodumov S.V. Modeling the technology of layer-by-layer synthesis in the development of products of complex shape. *Modern high technology*. 2010; (4):83-87. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13919878> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [16] Tanaka K., Wang H.O. Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach. New York, Wiley; 2001. (In Eng.)
- [17] Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1985; SMC-15(1):116-132. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>
- [18] Druzhinina O.V., Masina O.N. Methods of stability analysis of dynamic systems of intelligent control. Moscow, LENAND; 2016. (In Russ.)
- [19] Druzhinina O.V., Masina O.N. On Approaches to the Stability Analysis of Nonlinear Dynamic Systems with Logical Controllers. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2017; 13(2):40-49. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.2017.2.234>



- [20] Silantyeva A.V., Tolpinskaya N.B., Oreshkina O.A., Nezemsky V.I. Cognitive technologies in computer science: schoolbook. Moscow, MSTU N.E. Bauman Publ.; 2014. (In Russ.)
- [21] Mikhalev A.I., Novikova E.Yu. Fuzzy-cognitive approach to the task of controlling FESI smelting processes. *Adaptive systems of automatic control*. 2006; (9):133-139. Available at: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/9927/1/16.pdf> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [22] Igonina E.V. Application of the cognitive approach to the study of systems with incomplete information. In: *Proceedings of the V International Scientific Conference "Actual Problems of Mathematics and Computer Science: Theory, Methodology, Practice"*, dedicated to the 150th birthday of academician S. A. Chaplygin. Yelets, Bunin Yelets University; 2019. p. 20-21. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41122395> (accessed 18.02.2020). (In Russ.)
- [23] Alexandrova V.V., Zaytseva A.A. 3D Technologies and Cognition Programming. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy* = Information-measuring and Control Systems. 2012; 10(5):61-64. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17830418> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [24] Alexandrov V.V., Sarychev V.A. Digital Programmed Technologies. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy* = Information-measuring and Control Systems. 2010; 8(11):3-9. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16527112> (accessed 18.02.2020). (In Russ., abstract in Eng.)
- [25] Vasiliev S.N. To intelligent control. In: S. N. Vasiliev (ed.) *Nonlinear control theory and its applications*. Moscow, Fizmatlit; 2000. p. 57-127. (In Russ.)
- [26] McCalloch W.S., Pitts W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1943; 5:115-133. (In Eng.)
- [27] Golovko V.A. Neural networks. Training, organization and application. Book 4. Moscow, IPRZHR; 2001. (In Russ.)
- [28] Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Yu. Fuzzy logic and artificial neural networks. Moscow, FIZMATLIT Publ; 2001. (In Russ.)
- [29] Babrashin E.A. Introduction to sustainability theory. Moscow, URSS; 2014. (In Russ.)
- [30] Vorotnikov V.I., Rumyantsev V.V. Fundamentals of the theory of partial stability and control. Nizhny Tagil, NTI (branch) of SFedU; 2014. (In Russ.)
- [31] Shestakov A.A. Generalized direct Lyapunov method for systems with distributed parameters. Moscow, URSS; 2007. (In Russ.)
- [32] Masina O.N., Druzhinina O.V. Modeling and stability analysis of some classes of control systems. Moscow, URSS; 2011. (In Russ.)
- [33] Goryushkin E.I. The use of neural network technologies in adaptive testing in computer science at a university: diss. ... Ph.D. (Pedagogy). Kursk; 2009. (In Russ.)
- [34] Grushevsky S.P., Arkhipova A.I. Design of educational information complexes. Krasnodar, KubSU Publ.; 2000. (In Russ.)
- [35] Dobrovolskaya N.Yu. Computer neural network technologies as a means of individualized training for students of physical and mathematical specialties: diss. ... Ph.D. (Pedagogy). Krasnodar; 2009. (In Russ.)
- [36] Tuktarova L.R. System modeling of intellectual management of the organization of the educational process: On the example of an educational institution of secondary vocational education: diss. ... Ph.D. (Engineering). Ufa; 2001. (In Russ.)
- [37] Druzhinina O.V., Masina O.N., Petrov A.A. The Synthesis of the Switching Systems Optimal Parameters Search Algorithms. In: Y. Evtushenko, M. Jaćimović, M. Khachay, Y. Kochetov, V. Malkova, M. Posypkin (ed.) *Optimization and Applications. OPTIMA 2018. Communications in Computer and Information Science*, vol. 974. Springer, Cham; 2019. p. 306-320. (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-10934-9_22

Submitted 18.02.2019; revised 20.04.2020;
published online 25.05.2020.

About the authors:

Olga V. Druzhinina, Chief Researcher, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences (44-2 Vavilov St., Moscow 119333, Russia); Chief Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (65 Profsoyuznaya St., Moscow 117997, Russia), Dr.Sci. (Phys.-Math.), Professor; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9242-9730>, ovdruzh@mail.ru

Elena V. Igonina, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Computer technologies, Bunin Yelets State University (28-1 Kommunarov St., Yelets, 399770, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7369-6219>, elenaigonina7@mail.ru

Olga N. Masina, Head of the Department of Mathematical Modeling and Computer technologies, Bunin Yelets State University (28-1 Kommunarov St., Yelets, 399770, Russia), Dr.Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0934-7217>, olga121@inbox.ru

Alexey A. Petrov, Senior Lecturer of the Department of mathematical modeling and computer technologies, Bunin Yelets State University (28-1 Kommunarov St., Yelets, 399770, Russia), Ph.D. (Tech.), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3011-9278>, xeal91@yandex.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

